Nebel, Nico

„Ablaufsimulation von komplexen Montageprozessen in modularen Montagesystemen“

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Maschinenbau / Feinwerktechnik

Chemnitz, 2007

Nebel, Nico

„Ablaufsimulation von komplexen Montageprozessen in modularen Montagesystemen“

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Maschinenbau / Feinwerktechnik

Chemnitz, 2007

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Dieter Fischer
Dr.-Ing. Ulrich Radünz

vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Nebel, Nico:
Ablaufsimulation von komplexen Montageprozessen in modularen Montagesystemen.
– 2007. – 81 S. 39 Abb., 8 Tab., 28 Lit., 8 Anl.
Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Maschinenbau / Feinwerktechnik,
Diplomarbeit, 2007

Referat:

Ziel der Diplomarbeit ist die Auswahl einer Software zur Simulation von komplexen, modularen Montageprozessen. Diese Simulationssoftware soll in der Planungs-, Realisierungs- und Anlaufphase der Montageanlagen die Planungssicherheit erhöhen und die Kommunikationsmöglichkeiten verbessern.
Die vorliegende Arbeit erläutert zunächst die Grundlagen des Einsatzes von Simulationsprogrammen. Es werden verschiedene Programme für die Simulation in Produktion und Montage verglichen und die Methodik zur Selektierung des Programms dargestellt. Anschließend wird eine fundierte Empfehlung zur Auswahl eines Simulationsprogramms für die Zwecke der SITEC Industrietechnologie GmbH gegeben und begründet.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS V

TABELLENVERZEICHNIS VIII

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS IX

1 EINLEITUNG 1

1.1 PROBLEMSTELLUNG: 1

1.2 DIE FIRMA SITEC INDUSTRIETECHNOLOGIE GMBH 2

1.3 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DIESER DIPLOMARBEIT 3

1.4 VORGEHENSWEISE ZUR PROBLEMLÖSUNG 4

2 GRUNDLAGEN DER SIMULATION IN PRODUKTION UND LOGISTIK 6

2.1 WAS IST SIMULATION? 6

2.1.1 DEFINITION 6

2.1.2 MODELLBILDUNG 8

2.1.3 DYNAMISCHE PROZESSE 10

2.1.4 EXPERIMENTIERBARES MODELL 11

2.1.5 SIMULATIONSERGEBNISSE 12

2.2 MOTIVATIONEN FÜR DEN EINSATZ VON SIMULATION 13

2.3 ANWENDUNGSGEBIETE VON SIMULATION 14

2.3.1 ÜBERBLICK 14

2.3.2 SIMULATION IN DER PLANUNGS- UND ENTWICKLUNGSPHASE 15

2.3.3 SIMULATION IN DER REALISIERUNGSPHASE 16

2.3.4 SIMULATION IN DER BETRIEBSPHASE 17

2.4 VORGEHENSWEISE FÜR DIE DURCHFÜHRUNG EINER SIMULATIONSSTUDIE 18

2.4.1 STRUKTURIERUNG DER VORGEHENSWEISE 18

2.4.2 ZIELSETZUNG 19

2.4.3 DATENBESCHAFFUNG 19

2.4.4 DATENAUFBEREITUNG 20

2.4.5 MODELLIERUNG 21
2.4.6 IMPLEMENTIERUNG 22
2.4.7 VALIDIERUNG 23
2.4.8 EXPERIMENTIEREN 23
2.4.9 ERGEBNISDARSTELLUNG UND –AUFBEREITUNG 24
2.4.10 AUSWERTUNG UND ERGEBNISINTERPRETATION 25
2.5 NUTZEN UND AUFWAND VON SIMULATION 26
2.6 GRENZEN DER SIMULATION 28
2.7 ALTERNATIVEN ZU SIMULATION 29

3 ANALYSE DES ISTZUSTANDES DER FIRMA 30

3.1 AUSGANGSPUNKT FÜR DIE UNTERSUCHUNG 30
3.2 ANWENDUNGSGEBIETE FÜR ABLAUFSIMULATION IN DER SITEC GMBH 30
3.2.1 GESCHÄFTSFELDER DER SITEC GMBH 30
3.2.2 ANWENDUNG IN DER ANGEBOTSPHASE 31
3.2.3 ANWENDUNG IN DER REALISIERUNGSPHASE 32
3.2.4 ANWENDUNG BEI ÄNDERUNGSWÜNSCHEN 32
3.2.5 ZUSAMMENFASSUNG 33

4 BESCHREIBUNG DES SOLLZUSTANDES IN DER FIRMA 34

4.1 ZIELE UND MOTIVATION DES SIMULATIONSEINSATZES 34
4.2 EINSATZGEBIETE, METHODEN UND EFFEKTE DURCH DEN EINSATZ VON SIMULATION 35
4.3 ZUSTÄNDIGKEITEN & AUFWÄNDE 37

5 METHODIK ZUR AUSWAHL DER SIMULATIONSSOFTWARE 39

5.1 ÜBERBLICK ZUR AUSWAHL EINER SIMULATIONSSOFTWARE 39
5.2 VORBEREITUNG 41
5.2.1 BESCHREIBUNG DES ANFORDERUNGSKATALOGS: 41
5.2.2 MOTIVATION FÜR DIE AUSWAHL EINIGER ANFORDERUNGEN 42
5.2.3 LISTE DER ZU VERGLEICHENDEN SIMULATIONSTOOLS 44
5.2.4 METHODIK DER INFORMATIONSBESCHAFFUNG UND BEURTEILUNG 45
5.2.5 KLASSIFIZIERUNG DER ANFORDERUNG, GEWICHTUNG DER KRITERIEN 46
5.3 GROBAUSWAHL 48

5.4 FEINAUSWAHL 52

5.4.1 AUSWAHL DER REFERENZANLAGE 52

5.4.2 MODELLIERUNG DER REFERENZANLAGE MIT DER SOFTWARE „3D-CREATE“ 54

5.4.3 MODELLIERUNG DER REFERENZANLAGE MIT DER SOFTWARE ENTERPRISE DYNAMICS 62

5.4.4 MODELLIERUNG DER REFERENZANLAGE MIT ARENA 67

5.4.5 MODELLIERUNG DER REFERENZANLAGE MIT DER SOFTWARE WITNESS 70

5.4.6 MODELLIERUNG DER REFERENZANLAGE MIT WEITEREN SIMULATIONSPROGRAMMEN 71

5.4.7 EMPFEHLUNG EINER SIMULATIONSSOFTWARE 72

6 EMPFEHLUNGEN ZUR EINFÜHRUNG VON SIMULATION INS UNTERNEHMEN 74

7 FAZIT/ BEWERTUNG DER UMSETZUNG 79

8 ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK 81

LITERATURVERZEICHNIS X

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Jahresumsatzes 2
Abbildung 2: Entwicklung der Mitarbeiterzahlen 2
Abbildung 3: Produktionsstätte der SITEC GmbH 2
Abbildung 4: Vorgehensweise zur Problemlösung 1
Abbildung 5: Simulationsarten 7
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Simulationsbegriffes 8
Abbildung 7: Möglicher Fehler beim Modellieren 9
Abbildung 8: Allgemeines Zielsystem der Produktion 13
Abbildung 9: Einsatzgebiete der Simulation im Lebenszyklus technischer Produkte 15
Abbildung 10: Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie 1
Abbildung 11: Einfluss der Abstrahierung eines Modells 21
Abbildung 12: Simulationsmodell mit Onlineauswertung 25
Abbildung 13: Aufwandsverteilung einer Simulationsstudie 28
Abbildung 14: Netzwerk der Geschäftsprozesse 31
Abbildung 15: Zieldefinition der Simulation in der SITEC 1
Abbildung 16: Vorgehen zur Auswahl der Simulationssoftware 40
Abbildung 17: Systembaukasten VARIOMODUL® in verschiedenen Varianten 43
Abbildung 18: Kriterienhierarchie der NWA 47
Abbildung 19: Gewichtung der Kriterien für die Nutzwertanalyse 48
Abbildung 20: Gesamtbewertung der Simulationstools nach der NWA 50
Abbildung 21: Gegenüberstellung Kosten-/ Nutzenverhältnis einzelner Programme 51
Abbildung 22: Vergleich Arena & Enterprise Dynamics 51
Abbildung 23: Foto der Referenzanlage 52
Abbildung 24: Layout der Referenzanlage 53
Abbildung 25: Definieren einer hierarchischen Schnittstelle 55
Abbildung 26: Plug & play-Verfahren 56
Abbildung 27: Parameterseite eines 6-Stationen-Rundtakttisches 57
Abbildung 28: Modellierung mit 3D-Create 58
Abbildung 29: Simulationsmodell der Referenzanlage im Programm 3D-Create 60
Abbildung 30: Benutzeroberfläche von "Enterprise Dynamics" 63
Abbildung 31: „Atom Editor“ als Unterstützung der Modellierung 64
Abbildung 32: Channels in Enterprise Dynamics 64
Abbildung 33: Erzeugtes Modell der Referenzanlage mit Enterprise Dynamics 65

Abbildung 34: Modellierung der Templates mithilfe von Ablaufdiagrammen 68
Abbildung 35: Modelldarstellungen in Arena..... 1
Abbildung 36: Programmoberfläche von Witness mit geöffnetem Element "Drehtisch" 71
Abbildung 37: Vergleich der einzelnen Programmkosten 73
Abbildung 38: Schritte zur Einführung der Simulation ins Unternehmen..... 77
Abbildung 39: Zeitplan für die Einführung der Simulation in die SITEC GmbH..... 78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ziele, Methoden und Effekte der Simulation im Unternehmen 37
Tabelle 2: Anforderungskatalog an die Simulationssoftware 42
Tabelle 3: recherchierte Simulationsprogramme 45
Tabelle 4: Bewertungsstufen der NWA 48
Tabelle 5: Ausschnitt aus der Tabelle Nutzwertanalyse 49
Tabelle 6: Entstehende Kosten für die Anschaffung von 3D-Create 61
Tabelle 7: Entstehende Kosten für die Anschaffung von E. D. 66
Tabelle 8: Entstehende Kosten für die Anschaffung von Arena 70

Abkürzungsverzeichnis

ASIM …….Arbeitsgemeinschaft Simulation
BDE ...……Betriebsdatenerfassung
CPU ……...Central Processing Unit
DMC ……...Data-Matrix-Code
ECM .....……Electrochemical Machining
FEM …...……Finite-Elemente-Methode
FIFO ...……...First In First Out
GIGO ……Garbage In – Garbage Out
GUI ...……...Graphical-User-Interface
IBF ….……Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme
MDE ...……Maschinendatenerfassung
MTBF ...……...Mean Time Between Failures
MTTR ...……...Mean Time To Recover
NWA ……..……Nutzwertanalyse
RT …….Rundtisch
VRML ……Virtual Reality Modeling Language
ZE ...…….Zeiteinheiten

1 Einleitung

1.1 Problemstellung:

Die modernen Konsumgüter erfordern infolge der immer kürzer werdenden Lebenszyklen und des Wunsches nach individueller Anpassung ein enormes Maß an Flexibilität in der Entwicklung und Fertigung. Nur wer die Zeichen der Zeit erkennt und so schnell wie möglich auf die veränderte Lage reagieren kann, hat eine Chance sich im globalen Wettbewerb zu behaupten.

Diese Tendenzen, die auch zunehmend bei industriellen Gütern zu verzeichnen sind, stellen einen besonderen Anspruch an die Gestaltung der Produktionsmittel, besonders im Montagebereich, als zumeist letzten Schritt in der Produktion.

Durch den patentgeschützten Systembaukasten für die Montage VARIOMODUL® ist es der Firma SITEC GmbH gelungen, schnell und individuell auf Kundenwünsche einzugehen. Mithilfe dieses Systembaukastens können teil- oder vollautomatisierte Montageanlagen günstig und schnell realisiert werden. Durch die Modifikation der einzelnen Systemmodule werden verschiedene Füge-, Transport-, Handlings- und Prüfoperationen integriert. Werden diese Module miteinander gekoppelt, entstehen komplexe, leistungsfähige und hochflexible Montageanlagen.

Im Rahmen einer Angebotserstellung muss eine Montagetechnologie unter den gegebenen Kundenrestriktionen, wie z.B. Produktivitätsmerkmale, innerhalb eines kurzen Zeitraums erarbeitet werden. Da es einerseits aus zeitlichen Gründen nicht möglich und aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist, die gesamte Anlage in diesem Zeitraum zu konstruieren, zu fertigen und zu testen, aber andererseits dem Kunden die Erfüllung der Kennwerte des Lastenheftes zugesichert werden muss, werden durch Erfahrungen und Schätzungen die Parameter ähnlicher Anlagen auf die neu zu planende Anlage appliziert. Bei einer Zunahme der Funktionalität und Komplexität einer Montageanlage können die Auswirkungen des Zusammenwirkens der einzelnen Stationen jedoch immer ungenauer abgeschätzt und beurteilt werden.

Hier kann mit dem frühzeitigen Einsatz von Simulationen in der Planungsphase Abhilfe geschaffen werden. Durch eine rechnergestützte Simulation können die Auswirkungen der Verkettung einzelner Module sowie verschiedene Varianten einer Montageanlage auf einer sachlich-objektiven Basis ausgewertet und miteinander verglichen werden.

1.2 Die Firma SITEC Industrietechnologie GmbH

Die SITEC Industrietechnologie GmbH wurde 1991 in Chemnitz gegründet und arbeitet in den Geschäftsfeldern Montagesystemlösungen, Laseranlagen und Laser-Lohnfertigung, Prüfstände, ECM[1]-Anlagen und ECM-Prüfstände, Steuerungstechnik und MDE[2]- / BDE[3]-Systeme /SITE2/. Seit ihrer Gründung wuchs die Firma beständig und beschäftigt mittlerweile über 140 Mitarbeiter (Abbildung 2) mit einem Jahresumsatz von ca. 30 Mio. Euro (Abbildung 1).

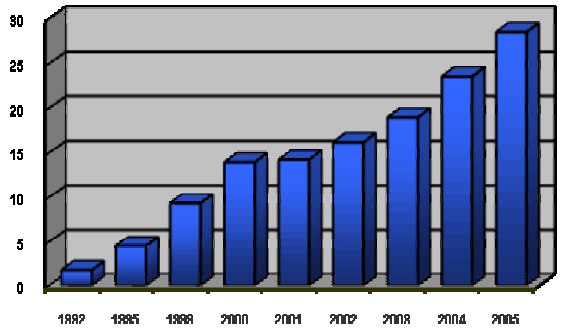


Abbildung 1: Entwicklung des Jahresumsatzes /SITE1/

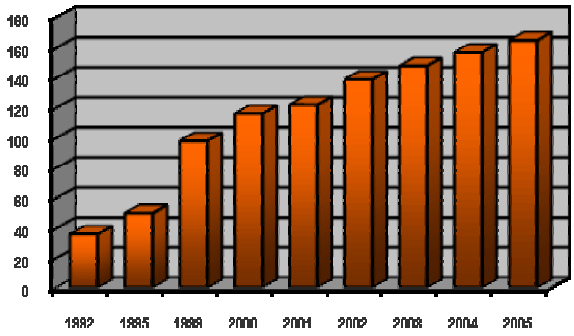


Abbildung 2: Entwicklung der Mitarbeiterzahlen /SITE1/

Die SITEC GmbH entwickelte sich in dieser Zeit vom reinen Ingenieurdienstleister zum Sondermaschinenbauer und Serienfertiger mit eigener Produktionsstätte (Abbildung 3) /SITE2/.

Abbildung 3: Produktionsstätte der SITEC GmbH /SITE1/

Einen besonderen Stellenwert besitzt das Geschäftsfeld der Montagesystemlösungen, hier wurden mit der Entwicklung des Systembaukastens VARIOMODUL® neue Maßstäbe in Sachen modulare Montageanlagen gesetzt. Durch die enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungseinrichtungen und einem hohen Anteil an innovativen Projekten gewährleistet die SITEC GmbH den beständigen Fortschritt in allen Geschäftsfeldern.

[1] engl. Electrochemical Machining
[2] Maschinendatenerfassung
[3] Betriebsdatenerfassung

1.3 Aufgabenstellung und Zielsetzung dieser Diplomarbeit

Um die aus der Problemstellung heraus resultierenden Schwierigkeiten in der Montageplanung schnell und kosteneffektiv lösen zu können, ist die Anschaffung eines Computerprogramms für die Simulation der Abläufe in den Montageanlagen geplant.
Dieses Simulationstool soll planungsunterstützend eingesetzt werden, um verschiedene Ziele der Kundenakzeptanz, Anlagenoptimierung und Planungssicherheit zu erreichen.
Durch die in einer Vielzahl vorhandenen und in Funktionalität und Preis sich erheblich unterscheidenden Softwarelösungen zur Ablaufsimulation ergibt sich die zwingende Notwendigkeit der ausführlichen Analyse und des Vergleichs. Dazu sollen im Rahmen dieser Diplomarbeit unter anderem die grundlegenden Sachverhalte zu Simulation in Produktion und Montage diskutiert werden.
Es müssen der zukünftige Anwendungsbereich des Tools abgegrenzt werden, sowie die firmenspezifischen Anforderungen an das Programm klar definiert und gewichtet werden. Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis ist unter Beachtung der Aufwände für Anschaffung, Schulung, Modellierung, Simulation und der zu bereitstellenden Simulationsergebnisse zu bewerten. Aufgrund der Komplexität der Programme und der zu simulierenden Sachverhalte ist es unumgänglich, ein Referenzmodell zu erstellen. Anhand dieses Modells können die Funktionalitäten der verschiedenen Programme detailliert verglichen werden. Die Alltagstauglichkeit der zu favorisierenden Software soll im Rahmen einer Simulationsstudie mit diesem Referenzmodell untersucht werden. Mithilfe der Kontrolle der Ergebnisse dieser Simulations-studie, hinsichtlich der anfangs gestellten Anforderungen, wird der Nutzen aus der Verwendung dieser Software zur Simulation für die SITEC GmbH überprüft und bewertet.
Ziel der Diplomarbeit ist die fundierte Empfehlung eines Simulationsprogramms, deren Nachvollziehbarkeit sich sachlich-objektiv darlegen lässt. Es soll somit verhindert werden, dass durch unzureichende Informationen und fehlendes Hintergrundwissen über Simulation, infolge falschen Abschätzens zukünftiger Aufwände beim Simulieren, durch Übersehen kleiner Anbieter am Markt oder ein falsches Anforderungsprofil an die Software eine Fehlentscheidung getroffen wird, die sich erst nach längerer Anwendung bemerkbar macht und zu keiner optimalen Anwendung der Simulationssoftware führt.
Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit beeinflussen im Wesentlichen die Entscheidung für oder gegen ein spezielles Programm zur Ablaufsimulation. Nur bei der Wahl des richtigen Werkzeuges ist sichergestellt, dass die zukünftige Arbeit mit dem Simulationstool zur Umsetzung der oben genannten Ziele beiträgt und von den Benutzern akzeptiert wird.

1.4 Vorgehensweise zur Problemlösung

Um zu einem optimalen Ergebnis für die SITEC GmbH und der Hochschule Mittweida (FH) zu gelangen, müssen sowohl die betrieblichen als auch die wissenschaftlichen Belange möglichst umfassend berücksichtigt werden. Dazu ist diese Diplomarbeit in zwei große Teile gegliedert.

Im ersten Teil, dem theoretischen, werden die Vorarbeiten zur praktischen Herangehensweise geleistet (Kapitel 1). Hier werden die grundlegenden Dinge der Simulation in Produktion und Logistik erläutert. Dazu zählen insbesondere die Definition von Simulation sowie deren umfassende Interpretation, der Nutzen, die Beschreibung der Anwendungsgebiete in Produktion und Logistik und natürlich das Aufzeigen der Grenzen von Simulation. Es werden zudem die notwendigen Schritte für ein folgerichtiges Vorgehen zur erfolgreichen Simulation beschrieben.

Im praktischen Teil der Diplomarbeit wird zunächst die Ausgangssituation im Unternehmen untersucht (Kapitel 3), der Sollzustand beschrieben (Kapitel 4) und die Vorgehensweise erläutert und dargestellt, um die optimale Empfehlung für die SITEC GmbH geben zu können (Kapitel 5). Aufgrund der Vielzahl der vorhandenen Simulationsprogramme wird hier eine zweistufige Auswahl durchgeführt. In einer Grobauswahl wird mithilfe einer Nutzwertanalyse der Umfang der ausführlich zu testenden Programme auf maximal drei begrenzt. Mit diesen Programmen wird die Erstellung und Simulation eines Referenzmodells bewertet. Diese Bewertung dient als Entscheidungsfindung für die Empfehlung eines Programms. Im Kapitel 6 werden Tipps für die Einführung der Simulation in das Unternehmen gegeben, da neben der Auswahl eines Simulationsprogramms weitere Schritte notwendig sind, um die Methodik der Simulation im Unternehmen zu implementieren.

Das Vorgehen ist in Abbildung 4 noch einmal übersichtlich dargestellt.

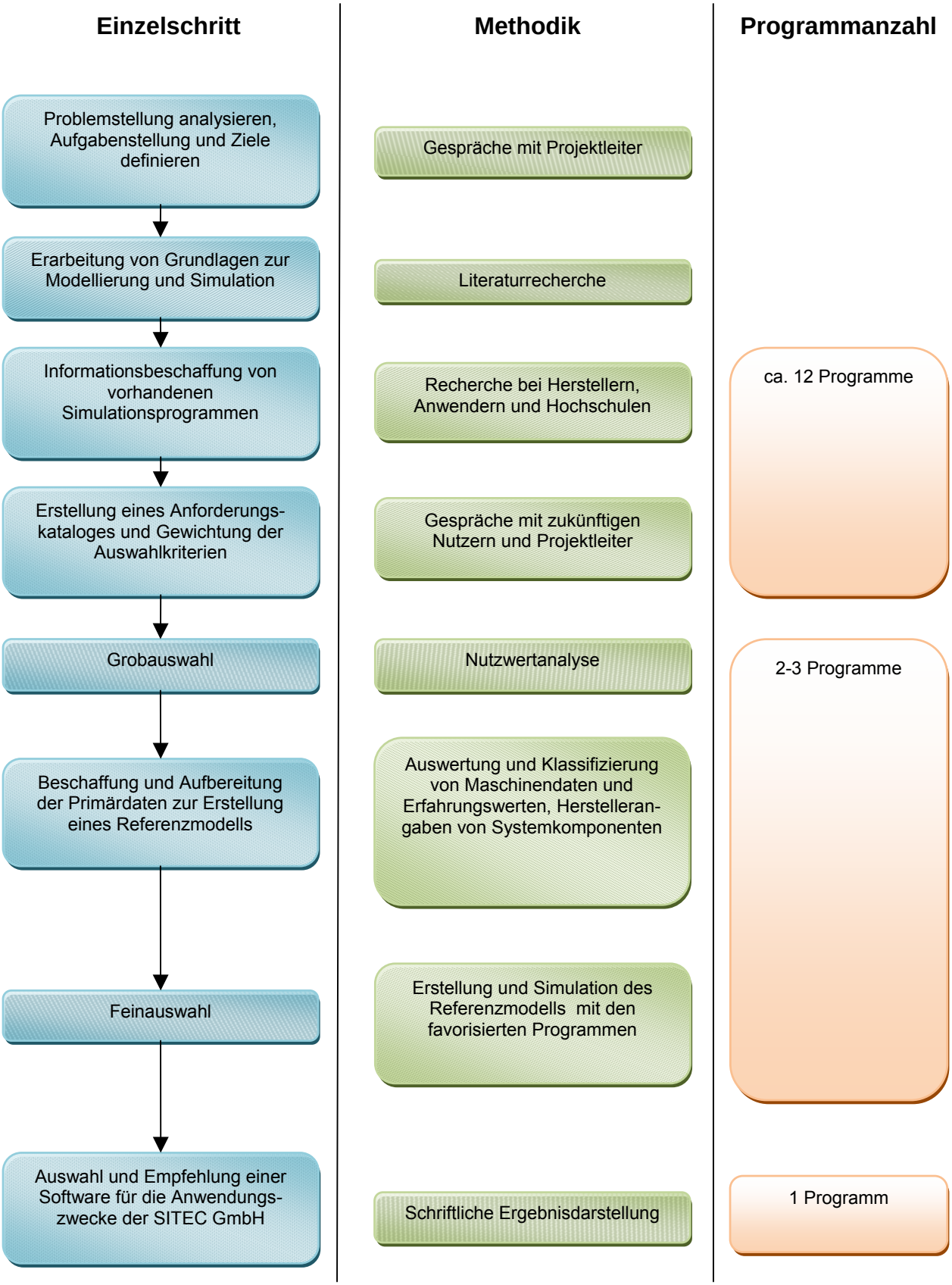

Einzelschritt
Methodik
Programmanzahl
Problemstellung analysieren, Aufgabenstellung und Ziele definieren
Gespräche mit Projektleiter
Erarbeitung von Grundlagen zur Modellierung und Simulation
Literaturrecherche
Informationsbeschaffung von vorhandenen Simulationsprogrammen
Recherche bei Herstellern, Anwendern und Hochschulen
ca. 12 Programme
Erstellung eines Anforderungs-kataloges und Gewichtung der Auswahlkriterien
Gespräche mit zukünftigen Nutzern und Projektleiter
Grobauswahl
Nutzwertanalyse
2-3 Programme
Beschaffung und Aufbereitung der Primärdaten zur Erstellung eines Referenzmodells
Auswertung und Klassifizierung von Maschinendaten und Erfahrungswerten, Herstelleran-gaben von Systemkomponenten
Feinauswahl
Erstellung und Simulation des Referenzmodells mit den favorisierten Programmen
Auswahl und Empfehlung einer Software für die Anwendungs-zwecke der SITEC GmbH
Schriftliche Ergebnisdarstellung
1 Programm

Abbildung 4: Vorgehensweise zur Problemlösung

2 Grundlagen der Simulation in Produktion und Logistik

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Sachverhalte zur Simulation erläutert. Dies ist notwendig, um eine einheitliche Verständigungsbasis für die weitere Analyse und Auswertung der nachfolgenden Kapitel zu schaffen. Es wird auf die einzelnen Punkte der Definition, Phasen, Anwendungsgebiete, Ziele sowie Grenzen der Simulation eingegangen.

2.1 Was ist Simulation?

2.1.1 Definition

Simulation stammt vom lateinischen Wort „simulare“ ab und heißt übersetzt nachbilden, nachahmen oder etwas vortäuschen /ASIM S.3/. Simulation ist ein recht weitläufiger Begriff und wird, je nach Anwendungsgebiet, unterschiedlich ausgelegt. Im medizinischen Bereich beispielsweise, insbesondere bei der Beschreibung von Krankheitsbildern durch den Patienten, bekommt der Begriff eine völlig andere Bedeutung (vortäuschen) als z.B. bei der Planung neuer Verkehrswege zur Vermeidung von Staus (nachbilden).

Um zu erläutern, um welche Art von Simulation es sich bei dieser Diplomarbeit handelt, werden zunächst die verschiedenen Simulationsarten strukturiert. Ausgehend vom Simulationsbegriff wird unterschieden, um welche generelle Art von Simulation es sich handelt: Spielsimulation (z.B. MS-Flight Simulator), Unternehmenssimulation (z.B. Unternehmensplanspiel), wissenschaftliche Simulation (z.B. die Entwicklung einer Population von Lebewesen) oder technische Simulation. Letztgenanntes ist das übergeordnete Gebiet, mit dem sich diese Diplomarbeit beschäftigt. Die technische Simulation lässt sich wiederum untergliedern in die Simulation in Produktion & Logistik und in die Simulation in der Entwicklung (z.B. Bauteilfestigkeit, Schaltungssimulation, Strömungssimulation). In der Produktion und Logistik wird in einer dritten Stufe unterschieden, was simuliert werden soll: Fertigungsprozesse, Werkzeugmaschinen, Anlagen oder ganze Fabriken. Zur besseren Verdeutlichung der Strukturierung dient Abbildung 5. (in Anlehnung an /PROD, WIK1/)

Das für die SITEC GmbH einzusetzende Programm soll hier zur Simulation von Anlagen verwendet werden. Somit ist das Einsatzgebiet des Programms eindeutig beschrieben.

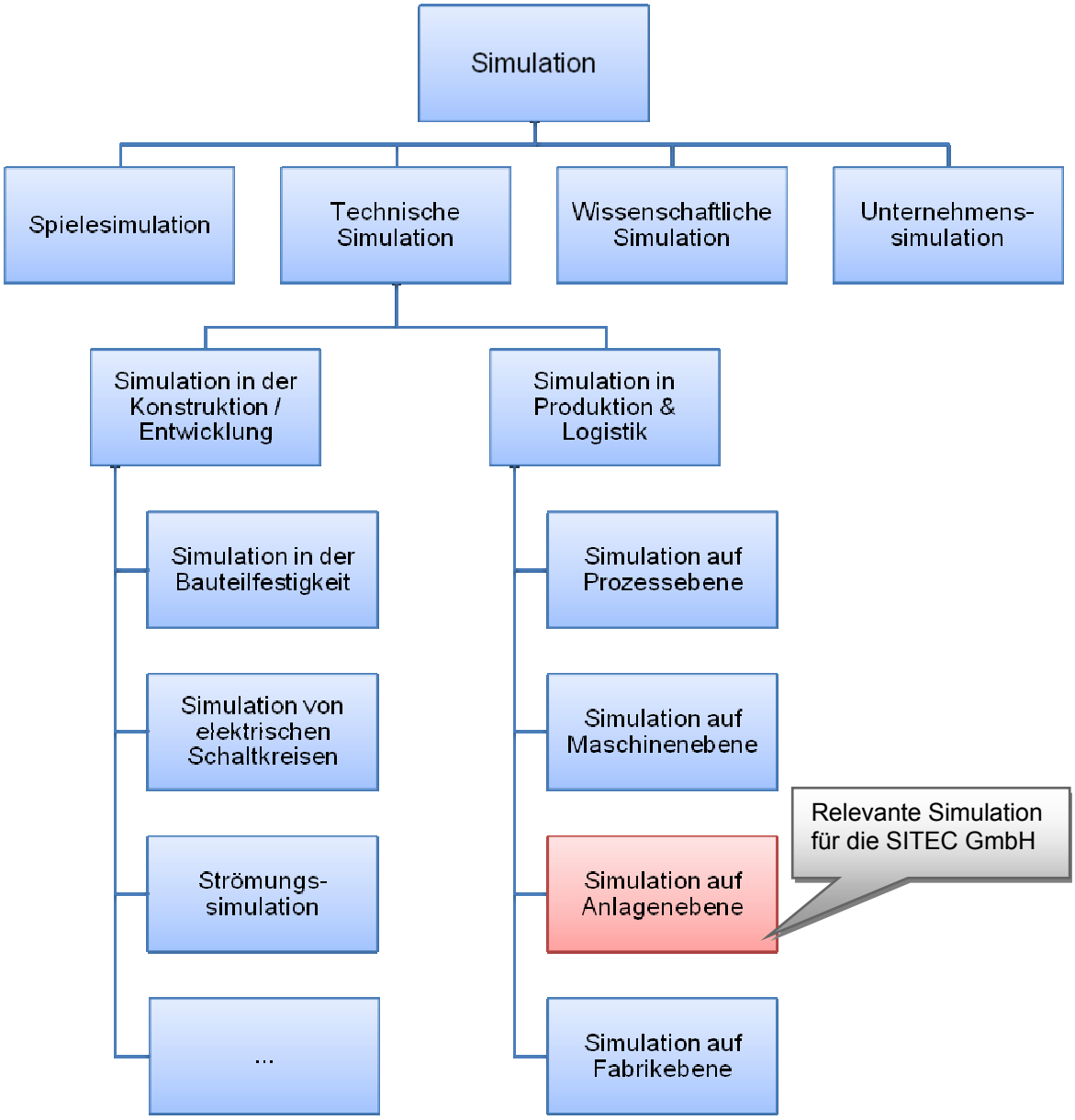


Abbildung 5: Simulationsarten (in Anlehnung an /PROD, WIK1/)

Der Verein deutscher Ingenieure hat im Rahmen der VDI-Richtlinie 3633 eine Definition des Simulationsbegriffes erarbeitet:

„Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt.

Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden.“

/VDI3633-1 S.2/

Abbildung 6 zeigt die schematische Darstellung des Simulationsbegriffes. Es wird ersichtlich, dass es sich bei der Simulation um einen iterativen Vorgang handelt. Die detaillierten Informationen für die Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie befinden sich in Abschnitt 2.4 ab Seite 18.

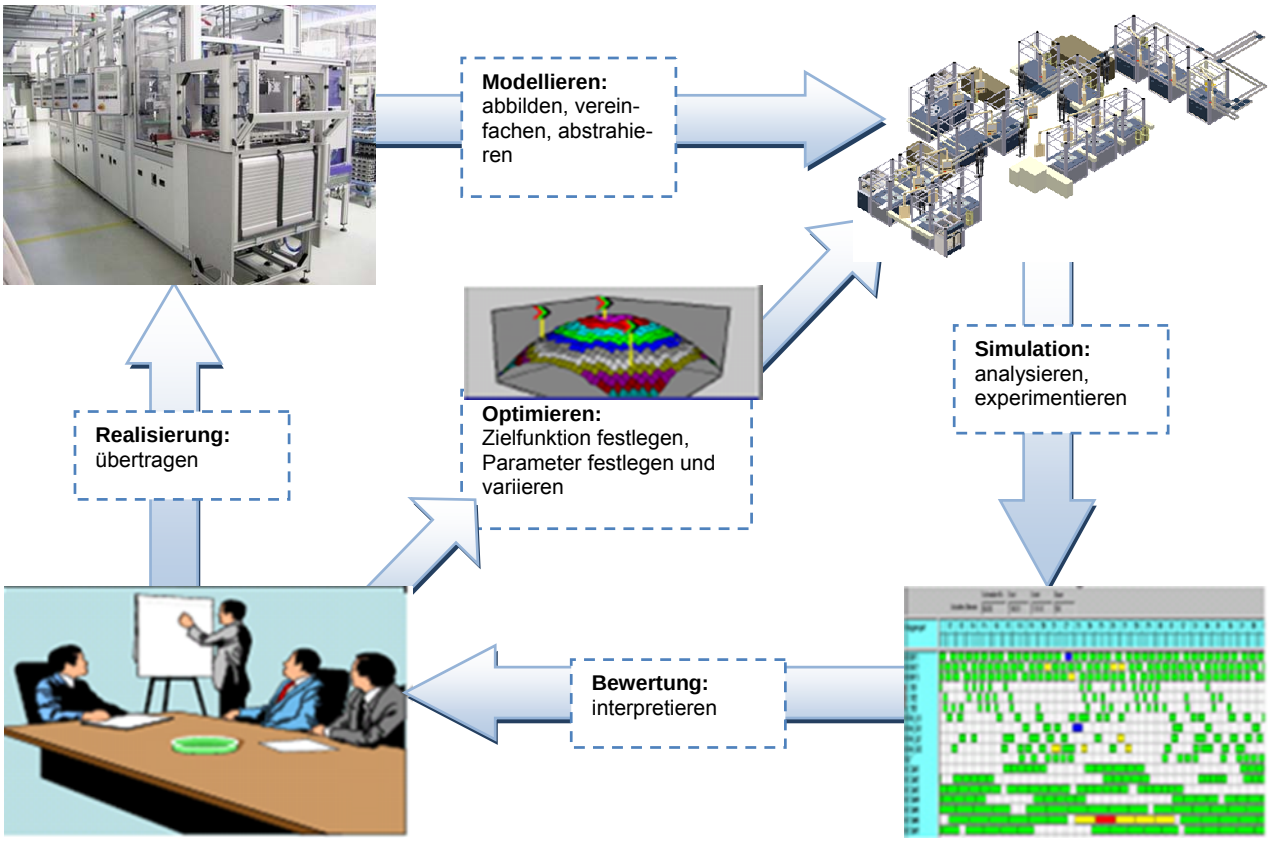


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Simulationsbegriffes (in Anlehnung an /VRES/)

Die knappe und klare Definition nach VDI 3633 besitzt eine sehr hohe Informationsdichte, daher ist es notwendig, die einzelnen Sinneinheiten im Kontext abzugrenzen und einzeln näher zu betrachten.

2.1.2 Modellbildung

Die Simulation setzt immer die Bildung eines Modells voraus, d.h., vor der Simulation steht die Modellierung. Bei der Simulation in Produktion und Logistik wird zumeist ein virtuelles Computermodell verwendet, daneben gibt es auch physikalische Modelle, wie z.B. ein maßstäbliches Schiffsmodell im Strömungskanal /PHI S.3/. Die Aufgabe des Modells ist das Beschreiben des real existierenden Systems mit all seinen relevanten Eigenschaften. In einem Modell werden niemals alle Eigenschaften und Spezifikationen des realen Systems wider-

gespiegelt, es verfügt somit über einen gewissen und auch notwendigen Abstraktionsgrad. Dieser ist so zu wählen, dass er alle für die Ergebnisse der Simulation irrelevanten Eigenschaften des nachzubildenden Systems aussondert. Wichtig in dieser Phase ist, dass das Ziel und der Zweck der Simulationsstudie schon klar definiert sind, denn das Abschätzen relevanter und irrelevanter Eigenschaften ist ohne eine klare Zieldefinition nicht möglich.

Beispielhaft wird die Simulation einer neuen Landebahn eines Flughafens betrachtet. Ist das Ziel der Simulation die Ermittlung der notwendigen Passagiergates für einen definierten Fluggastverkehr, so ist die Eigenschaft, welche Lärmemissionen durch die Flugzeuge entstehen, völlig irrelevant. Wird hingegen mit der Simulation geprüft, welchen Lärmbelastungen die Anwohner ausgesetzt werden, so ist es notwendig, die Eigenschaften der einzelnen Flugzeuge hinsichtlich ihrer Lärmemission zu modellieren.

Die Herausforderung beim Modellieren ist es, den richtigen Abstraktionsgrad zu finden (Abbildung 7). Wird zu grob modelliert, ist es fraglich, inwieweit die gewonnenen Simulationsergebnisse auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Wird hingegen die Modellierung zu detailliert durchgeführt, ist womöglich der Aufwand für die Modellerstellung und die Simulationsberechnungen nicht mehr angemessen. /Kuhn-98 S. 3/

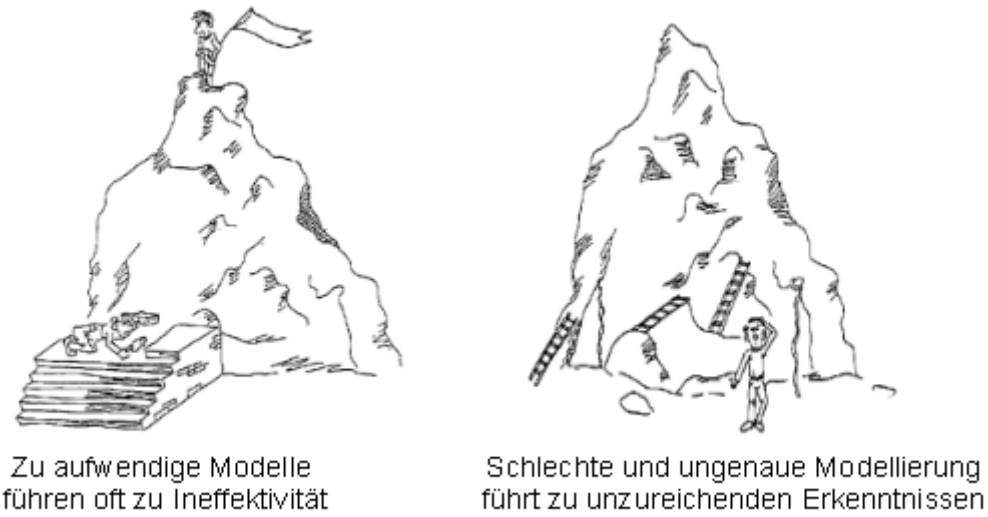


Abbildung 7: Möglicher Fehler beim Modellieren /ASIM S.8/

Neben dem Detaillierungsgrad ist auch der Umfang des Modells zu betrachten. In der realen Welt bedingen verschiedene Systeme einander, so ist z.B. die Fertigung von Maschinenbauerzeugnissen in einer Fertigungshalle von den Gegebenheiten in der Halle selbst, aber ebenso von deren Umwelt abhängig, denn ohne Material, Energie und Informationen von außerhalb kann keine Produktion auf Dauer erfolgen. Da in einer Simulation immer nur ein endliches Modell betrachtet werden kann, besitzt jedes dieser Modelle eine Systemgrenze mit Schnitt-

stellen nach außen (z.B. Senken, Quellen). Es liegt nun wieder in der Hand des Modellierers, wie weit er sein Modell ausdehnt und ob er zur Simulation, z.B. von Montageanlagen, die Montageanlage an sich, die Fertigungslinie oder die gesamte Fertigungshalle modelliert. Diese Entscheidung muss ebenfalls in Abhängigkeit vom Ziel der Simulationsstudie gefällt werden.

2.1.3 Dynamische Prozesse

Beim Simulieren werden immer dynamische Prozesse betrachtet. Statische Prozesse, die keinerlei Veränderung unterliegen, müssen nicht simuliert werden, da hier kein Erkenntnisgewinn zu erwarten ist. Um die dynamischen Prozesse abbilden zu können, arbeiten die meisten Simulationsprogramme ereignisorientiert. Dies bedeutet, der Simulator wartet auf Ereignisse, die wiederum neue Ereignisse auslösen. Das Ereignis wird mindestens durch Ort und Zeit beschrieben. /Kuhn-98 S.3-4/

Als Beispiel wird eine Montageanlage betrachtet. Wird ein Gehäuse in einem Rundtisch abgelegt, so wird dies erkannt und der Rundtisch taktet eine Station weiter. In dieser Station wird ein Einlegeteil eingelegt, der Rundtisch taktet weiter und an der nächsten Station werden beide Teile miteinander verschweißt. Es ist ersichtlich, dass das Ablegen des Gehäuses im Rundtisch ein Ereignis darstellt, dieses Ereignis bewirkt das Auslösen eines neuen Ereignisses, die Taktung des Rundtisches. Dieses neue Ereignis, bewirkt wiederum ein Ereignis, nämlich das Einlegen des Einlegeteils. Jedes dieser Ereignisse ist dabei an einen Ort (die jeweilige Station des Rundtisches) und an eine Zeit gebunden.

Werden die ablaufenden Vorgänge in immer mehr Ereignisse gegliedert, lässt sich die Simulation im Grunde beliebig genau durchführen. Diese Tatsache wirft wieder die Frage nach dem Detaillierungsgrad des Modells auf (vgl. Abschnitt 2.1.2). Da in einer ereignisorientierten Simulation ausschließlich Ereignisse betrachtet werden, hat das Auswirkungen auf das dynamische Verhalten eines Simulationsmodells. Es gibt Systemzustände, die im realen System erheblich Zeit verbrauchen, hingegen im Simulationsmodell keinerlei Rechenzeit verbrauchen (z.B. Rüstprozess einer Anlage). Hingegen werden Veränderungen im System mit einer Rechenzeit verarbeitet, die im real existierenden System keinerlei Zeit verbrauchen (z.B. gleichzeitiges Eintreten vieler Ereignisse an verschiedenen Orten). Diese Eigenschaft ermöglicht es, eine Simulation schneller oder langsamer als die Realität ablaufen zu lassen. Das ist ein großer Vorteil, denn so können mehrere Simulationsläufe in kurzer Zeit stattfinden, wobei die realen Prozesse Tage, Wochen oder Monate in Anspruch nehmen. Das Geschwindigkeitsverhältnis hängt dabei von mehreren Faktoren wie z.B. Rechengeschwindigkeit oder Anzahl der Ereignisse ab. /Kuhn-98 S.3-4/

2.1.4 Experimentierbares Modell

Eine Simulation an sich führt nicht auf direktem Weg zur optimalen Gestaltung des Modells für eine definierte Problemstellung. Hier sind mathematisch-analytische Verfahren im Vorteil, da Sie auf ein zu lösendes Gleichungssystem hinauslaufen, an deren Ende eine optimale Lösung stehen kann /Kuhn-98 S. 4/. Beim Simulieren hingegen, werden die Ergebnisse verschiedener Experimente hinsichtlich des Erreichens eines optimalen Sollzustandes verglichen. Dies bedeutet, dass das Simulationsmodell über einen oder mehrere variable Einstellwerte (Parameter) verfügen muss, die mit jedem neuen Simulationsdurchlauf geändert werden. Es können sowohl die Parameter als auch die Struktur des Modells geändert werden, um zu verschiedenen Simulationsergebnissen zu gelangen. Die VDI definiert das Simulationsexperiment wie folgt:

> *„Ein Simulationsexperiment ist die gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Parametervariation oder Strukturvariation.“*
> /VDI 3633-1 S.3/.

Um möglichst schnell und mit wenig Aufwand zu einem verwertbaren Ergebnis der Simulation kommen zu können, ist es notwendig, dass im Voraus ein Versuchsplan aufgestellt wird. Dieser Versuchsplan stellt sicher, dass die Parameter des Modells nicht wahllos abgeändert werden, sondern einer Systematik unterliegen. Um dabei den Einfluss verschiedener Parameter auf die Zielgrößen quantifizieren zu können, darf je Experiment nur ein Parameter geändert werden. Der abgeänderte Parameter und die erreichte Zielgröße jedes Experimentes sind zu dokumentieren, sie dienen später zur Analyse des Modells. Die Experimentierreihen müssen ebenfalls vorher mit dem Anwender abgestimmt werden, um einen sinnvollen Versuchsplan zu erhalten. Es muss dabei geklärt werden, welche Systemgrößen parametrisiert und welche Werte ihnen zugewiesen werden können /ASIM S.19/.

Als Beispiel soll hier das Spritzgießen eines Kunststoffteiles betrachtet werden. Die einzustellende Temperatur ist technologisch vorausgesetzt und damit nicht parametrisierbar. Die Aushärtezeit hingegen kann variabel sein, sollte jedoch nicht unter einen bestimmten Mindestwert fallen, da hier das Kunststoffteil noch nicht vollständig ausgehärtet ist. Diese Überlegungen können jedoch nur getroffen werden, wenn Modellierer und der für den zu simulierenden Sachverhalt Verantwortliche in enger Zusammenarbeit das Modell gemeinsam erstellen.

2.1.5 Simulationsergebnisse

Der eigentliche Zweck einer Simulationsstudie ist ein Erkenntnisgewinn über die Abläufe und Funktionsweisen eines zu simulierenden Systems, um es hinsichtlich einer oder mehrerer Zielgrößen optimieren zu können. Dazu wird das System als Modell abgebildet und stellvertretend für das reale System zum Experimentieren genutzt. Es ist daher wichtig, sich zu verdeutlichen, dass sich die gewonnenen Ergebnisse einer Simulationsstudie unmittelbar auf das angelegte Modell und nicht auf das reale System beziehen /Kuhn-98 S. 5/. Diese Tatsache ist keineswegs lapidar, denn wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert wurde, ist ein Simulationsmodell immer nur die vereinfachte und abstrahierte Darstellung des real existierenden Systems. Deshalb sind auch die Ergebnisse unter Umständen nicht zu 100 % auf die Realität übertragbar. Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse sind diese deshalb immer in Hinblick auf den gewählten Abstraktionsgrad des Modells zu überprüfen. Als Beispiel wird wieder eine Montageanlage betrachtet. Werden bei der Modellerstellung einer automatisierten Montageanlage mit mehreren Modulen und Stationen die einzelnen Taktzeiten der verschiedenen Stationen auf Sekunden (z.B. 4s) genau modelliert, so kann es passieren, dass in der Auswertestatistik aufgrund von verschiedenen mathematischen Rechenoperationen Taktzeitwerte mit Kommastellen ausgegeben werden (z.B. 2,93s). Diese Ergebnisse dürfen so nicht übertragen werden, sondern müssen ebenfalls auf die Genauigkeit der eingegeben Werte abstrahiert werden. Die gewonnenen Ergebnisse können nicht genauer sein als die eingegeben Werte!

In manchen Fällen werden bewusst Modelle mit einem hohen Abstraktionsverhältnis erstellt, weil entweder keine hinreichend genauen Systemdaten vorliegen oder der Modellierungsaufwand zu hoch wäre. Trotzdem eignen sich solche Modelle zum Bewerten von Systemen. Sie können zwar keine absoluten Aussagen über das modellierte System liefern (z.B. die Taktzeit der Anlage A beträgt im Mittel 4s), aber sie dienen dem Variantenvergleich zweier oder mehrerer unterschiedlicher Systeme (z.B. Anlage A produziert im Mittel schneller als Anlage B).

Neben dem Vergleich von Varianten können stark abstrahierte Modelle zudem für Sensitivitätsanalysen genutzt werden /Kuhn-98 S. 5/. Solche Analysen setzen die Ursache und die Wirkung in ein Verhältnis. Die Wirkung verschiedener Ursachen auf ein Problem kann quantifiziert werden. Beispielhaft für eine solche Ergebnisform ist die Aussage „Steigt die Taktzeit der Station A um 4 %, so sinkt der Gesamtdurchlauf der Anlage um 20 %. Steigt die Taktzeit der Station E um 4 %, so sinkt der Gesamtdurchlauf der Anlage nur um 13 %“.

2.2 Motivationen für den Einsatz von Simulation

Das übergeordnete Ziel des Einsatzes von Simulation ist das Erreichen des allgemeinen Zielsystems der Produktion (Abbildung 8). Die Simulation kann hierbei aber nur als unterstützendes Werkzeug verwendet werden und ist kein Ersatz für die Planung. Sie kann genutzt werden, um das Erreichen der einzelnen, zum Teil gegenläufigen, Teilziele wie Bestandsminimierung und Auslastungsmaximierung zu unterstützen und zu überprüfen, um anschließend die optimale Kombination der Teilziele für das Erreichen der Wirtschaftlichkeitsmaximierung bestimmen zu können. Klassische Fälle sind hierbei eine Simulation der Maschinenauslastung, der Verfügbarkeit oder der Durchlaufzeiten bestimmter Produkte. /VRES/

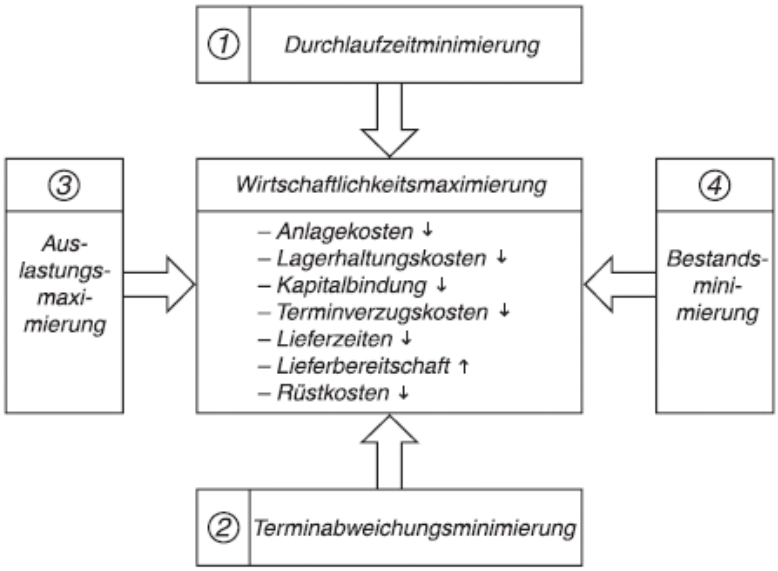


Abbildung 8: Allgemeines Zielsystem der Produktion /VDI 3633-1 S. 6/

Simulation bietet dabei Lösungen zum Erreichen folgender allgemeiner Ziele [Kuhn-98 S. 7, IPA]:

- Erkennen der Auswirkungen verschiedener Parameter auf das Zielsystem (Sensitivitätsanalyse)
- Minimieren von Risiken bei der Dimensionierung von Maschinen, Anlagen und Fabriken (z.B. Über- oder Unterdimensionierung von Pufferplätzen, Kapazitätsauslastungen von Maschinen)
- Aussagen über das dynamische Verhalten (Ablaufverhalten) von Systemen
- Fundierte Erkenntnisse über die Einhaltung der Pflichten aus dem Lastenheft
- Aufzeigen von Optimierungspotenzialen der Anlage
- Optimierung der Einlastung von Aufträgen
- Bewertung von Planungsvarianten

Konkret formulierte Fragestellungen an eine Simulationsstudie können dabei sein (vgl. /PHI S. 14/):

- Wird mit diesem Anlagenkonzept ein Durchsatz von 900 Teilen pro Schicht erreicht?
- Welche Station bildet den Engpass in der Anlage?
- Wie wirkt sich der Verlust von Station 4 durch Störung oder Wartung auf den Gesamtdurchsatz der Anlage aus?
- Ist es günstiger, die Verfügbarkeit der Anlage zu erhöhen oder die Taktzeit zu senken, um die geforderten Produktionsmengen zu erreichen?

2.3 Anwendungsgebiete von Simulation

2.3.1 Überblick

Der Einsatz von Simulationswerkzeugen ist recht vielfältig. Simulation wird vor allem angewandt, um das Verhalten von Systemen voraussagen zu können, in denen die einzelnen Elemente voneinander abhängig sind und durch Unvorhersehbarkeiten (Zufallsgrößen) beeinflusst werden /VRES/.

Als Beispiel wird hier die Fertigung von kundenspezifischen Linsen für Brillen angeführt. Es ist nicht vorhersagbar, wie viele Linsen in welcher Spezifikation wann bestellt werden (Unvorhersehbarkeit). Bei der Fertigung dieser Linsen ist eine vorgegebene Technologie zwingend einzuhalten, die Prozessschritte bedingen also einander. Die Durchlaufzeit von der Bestellung bis zur Lieferung der Linsen darf maximal drei Tage dauern. Für diesen Fall ist Simulation ein sinnvolles Werkzeug, um die Dimensionierung der Fertigung vorzunehmen. Simulation ist somit das einzige Werkzeug, welches es ermöglicht, dynamische Prozesse schnell zu analysieren und eine gute Lösung durch Variation von Einflussgrößen zu ermitteln /HOYA/.

Aus diesen Eigenschaften von Simulation resultieren die vielseitigen Anwendungsgebiete. Simulation wird im Anlagenverkauf eingesetzt, um als Entscheidungshilfe bei mehreren Varianten sowie als Bindeglied zwischen Kunden und Anbieter Unterstützung zu leisten. In der Neuplanung wird Simulation eingesetzt, um die strategische Auslegung von Produktions- oder Logistiklinien zu validieren. Weitere Anwendungsgebiete sind die Optimierung, die Änderungsplanung oder die Erweiterung bestehender Strukturen zur Erkennung der Auswirkungen verschiedener Szenarien. In der Produktionsplanung wird Simulation häufig als Unterstützung für die operative Planung eingesetzt, wie z.B. für das Erkennen von Engpassmaschinen oder des Materialflusses. /VRES/

Die VDI unterscheidet die Anwendungsgebiete der Simulation nach dem Produktlebenszyklus, dabei wird Simulation in jedem einzelnen Produktlebenszyklus eingesetzt (Abbildung 9). Betrachtet man die Entstehung einer neuen Montageanlage heißt dies: Als erster Schritt steht die Planung und Konstruktion der Anlage, im nächsten Schritt wird die Anlage realisiert und danach in Betrieb genommen und gewartet. In all diesen Abschnitten wird die Simulation als unterstützendes Werkzeug eingesetzt. Entsorgung und Recycling als die letzten Schritte im Produktlebenszyklus werden nicht betrachtet. In den nachfolgenden Abschnitten sollen nun die Einsatzfelder näher betrachtet werden.

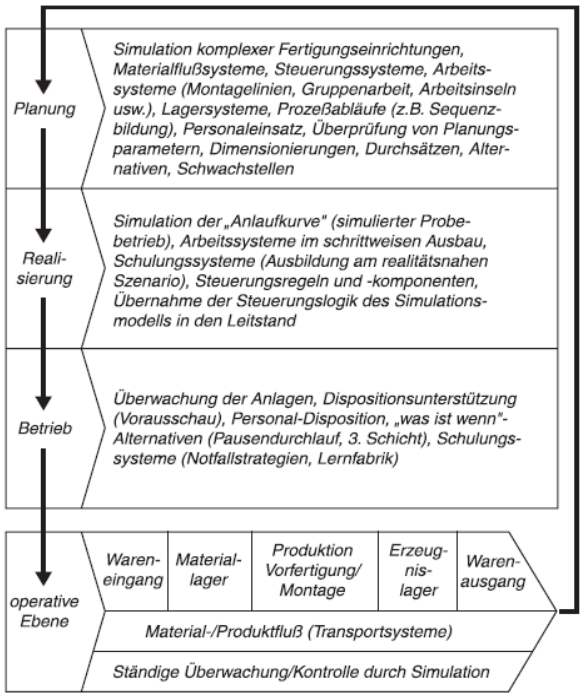

Planung
Simulation komplexer Fertigungseinrichtungen, Materialflußsysteme, Steuerungssysteme, Arbeitssysteme (Montagelinien, Gruppenarbeit, Arbeitsinseln usw.), Lagersysteme, Prozeßabläufe (z.B. Sequenzbildung), Personaleinsatz, Überprüfung von Planungsparametern, Dimensionierungen, Durchsätzen, Alternativen, Schwachstellen
Realisierung
Simulation der „Anlaufkurve" (simulierter Probebetrieb), Arbeitssysteme im schrittweisen Ausbau, Schulungssysteme (Ausbildung am realitätsnahen Szenario), Steuerungsregeln und -komponenten, Übernahme der Steuerungslogik des Simulationsmodells in den Leitstand
Betrieb
Überwachung der Anlagen, Dispositionsunterstützung (Vorausschau), Personal-Disposition, „was ist wenn"-Alternativen (Pausendurchlauf, 3. Schicht), Schulungssysteme (Notfallstrategien, Lernfabrik)
operative Ebene
Wareneingang
Materiallager
Produktion Vorfertigung/ Montage
Erzeugnislager
Warenausgang
Material-/Produktfluß (Transportsysteme)
Ständige Überwachung/Kontrolle durch Simulation

Abbildung 9: Einsatzgebiete der Simulation im Lebenszyklus technischer Produkte /VDI 3633-1 S.4/

2.3.2 Simulation in der Planungs- und Entwicklungsphase

Die Planungsphase zeichnet sich durch ein breites Spektrum an Realisierungsmöglichkeiten aus. Es werden viele Ideen in das Projekt eingebracht und verschiedene Varianten bewertet. Änderungen an den Produkten treten häufig und vielseitig auf.

Im Rahmen dieser Planungs- und Entwicklungsphase, wird die Simulation zur Unterstützung mehrerer Aufgaben eingesetzt. Sie dient vorwiegend der Absicherung von Planungsschritten zu realisierender Anlagen und Prozesse.

Bei der Planung neuer Anlagen können mithilfe von Simulation verschiedene Größen optimiert oder zumindest nachvollzogen werden, ohne dass eine real existierende Anlage vorhanden ist. Zudem sind Experimente am Simulationsmodell um ein Vielfaches günstiger, flexibler und weniger zeitintensiv als vergleichbare Experimente an realen Anlagen. Meist kommt

es auch vor, dass der Neuerungsgrad einer geplanten Anlage so hoch ist, dass Erkenntnisse von bestehenden Anlagen nicht übertragbar sind.
Simulation unterstützt die Planung bei:

- Ermittlung von Kapazitätsgrenzen,
- Abschätzen von Ursachen und deren Wirkungen (Sensitivitätsanalyse),
- Validierung komplexer Anlagen,
- Funktionsnachweis der Leistungserbringung (Absichern des Pflichtenheftes),
- Kostenminimierung durch effiziente Anlagen- und Personaleinsatzdimensionierung. /VDI 3633-1 S.3-4/

Grafisch gut aufbereitete und animierte Simulationsstudien bieten zudem den Vorteil, positiv auf die Kommunikation zwischen Kunde und Anbieter zu wirken. Dem Kunden können komplizierte Anlagen durch die multimediale Unterstützung, die Simulation bietet, besser verständlich gemacht werden. Das Vertrauen des Kunden in die Anlage und in den Hersteller wächst durch besseres Verständnis. Technisch weniger versierte Kunden können die Funktionsweise der Anlagen und Maschinen gedanklich besser nachvollziehen.
Ziel ist es, die vorhandenen Planungsrisiken zu minimieren, um eine kosteneffiziente Herstellung zu sichern sowie den Kunden vom Anlagenkonzept zu überzeugen. Fehler in der Dimensionierung oder in der Funktion sollen so früh wie möglich erkannt werden, denn die Kosten für eine nachträgliche Änderung der Anlage liegen um ein Vielfaches höher als bei einer Planungsänderung im frühzeitigen Entwicklungsstadium eines Produktes. Die Planungs- und Entwicklungsphase ist das klassische Gebiet der Simulation.

2.3.3 Simulation in der Realisierungsphase

Die Fertigung, die Montage, der Aufbau beim Kunden und die anschließende Inbetriebnahme werden durch die Realisierungsphase beschrieben.
Hierbei unterstützt Simulation in zunehmendem Maße die Verantwortlichen bei ihren Tätigkeiten. Hauptaufgabe von Simulation hierbei ist es, die Inbetriebnahmephase zu verkürzen, Problemszenarien bei Produktionsbeginn zu simulieren und die Mitarbeiterschulung zu unterstützen /VDI 3633-1 S.4/.
Die Inbetriebnahme lässt sich durch paralleles Entwickeln und Testen von Anlage und Steuerung verkürzen. Im klassischen Fall wird die Software zur Steuerung der Anlage parallel zur Fertigung programmiert. Nach Fertigstellung kann die Steuerung in die Anlage eingespielt und getestet werden. In den seltensten Fällen verläuft dies ohne Probleme. Meist müssen Teile des Programms umgeschrieben und anschließend getestet werden. Hierbei kann Simulation

die Phase der Zusammenführung von Steuerung und Anlagen dahingehend verkürzen, dass die programmierte Steuerung virtuell am Simulationsmodell validiert und gegebenenfalls verifiziert werden kann. Ist die reale Anlage gefertigt, kann die Steuerung im Idealfall ohne weitere Probleme eingespielt werden.
Das Einschwingverhalten von komplexen Anlagen bei Einführung neuer Produkte ist meist ungewiss. Mit Hilfe von Simulation können verschiedene Szenarien simuliert und analysiert werden. Die Planungssicherheit steigt.
Meist kann das Bedienpersonal erst an der vollständig montierten und betriebsbereiten Anlage eingewiesen und geschult werden. Durch ein exakt modelliertes und nach Möglichkeit auch dreidimensional visualisiertes und animiertes Simulationsmodell können Schulungen parallel zur Inbetriebnahme stattfinden. Es können hierbei verschiedene Handlungsweisen und auch Fehler aufgezeigt werden. Dies verkürzt wiederum die Inbetriebnahme der realen Anlage.

2.3.4 Simulation in der Betriebsphase

In der Betriebsphase ist die komplett montierte Anlage beim Kunden in Betrieb und befindet sich im eingeschwungenen Zustand. Dies bedeutet, dass Anfangsprobleme und kleinere Störungen beim Anfahren der Produktion behoben sind. Ab jetzt wird Simulation häufig verwendet, um eine bestehende Anlage zu optimieren oder Aussagen darüber zu gewinnen, was passieren würde, wenn andere Produkte auf den Anlagen gefertigt würden.
Beispielsweise ist eine Montageanlage in einem Unternehmen vorhanden und funktionsfähig. Der Kunde verlangt eine Änderung der zu montierenden Baugruppe: Die Schweißnaht soll aufgrund höherer Belastung mit anderen Schweißparametern geschweißt werden. Hierbei kann Simulation sinnvoll eingesetzt werden, um zu erkennen, ob die Anlage mit veränderten Schweißparametern und somit veränderten Zeitbedarfen die geforderte Durchlaufzeit noch erbringt oder ob neue parallele Schweißstationen eingeführt werden müssen.
Auch bei der Planung von Personal oder Schichtmodellen kann Simulation im laufenden Betrieb sinnvoll eingesetzt werden. Die Auswirkungen eines neuen Schichtplanes oder eines geänderten Personaleinsatzes werden schnell erkannt und mögliche Probleme können im Voraus vermieden werden.
Allgemein kann gesagt werden, dass in der Betriebsphase meist die Auswirkungen kleiner Änderungen wie z.B. die Variation des Produktprogramms oder Störungen simuliert werden.

2.4 Vorgehensweise für die Durchführung einer Simulationsstudie

2.4.1 Strukturierung der Vorgehensweise

In grober Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3633 gliedert sich die Vorgehensweise einer Simulationsstudie in drei große Bereiche: die Vorbereitung, die Simulationsdurchführung und die Ergebnisauswertung. Diese drei Phasen bestehen aus mehreren Einzelschritten, die in Abbildung 10 dargestellt sind. Es existieren verschiedene Vorgehensweisen zur Durchführung von Simulationsstudien, die jedoch alle in die drei großen Bereiche gegliedert sind. Lediglich bei den Unterteilungen dieser Bereiche gibt es Abweichungen. Die Vorgehensweise, die in dieser Diplomarbeit beschrieben wird, ist an die VDI-Richtlinie 3366 angelehnt und um eigene Punkte ergänzt worden.

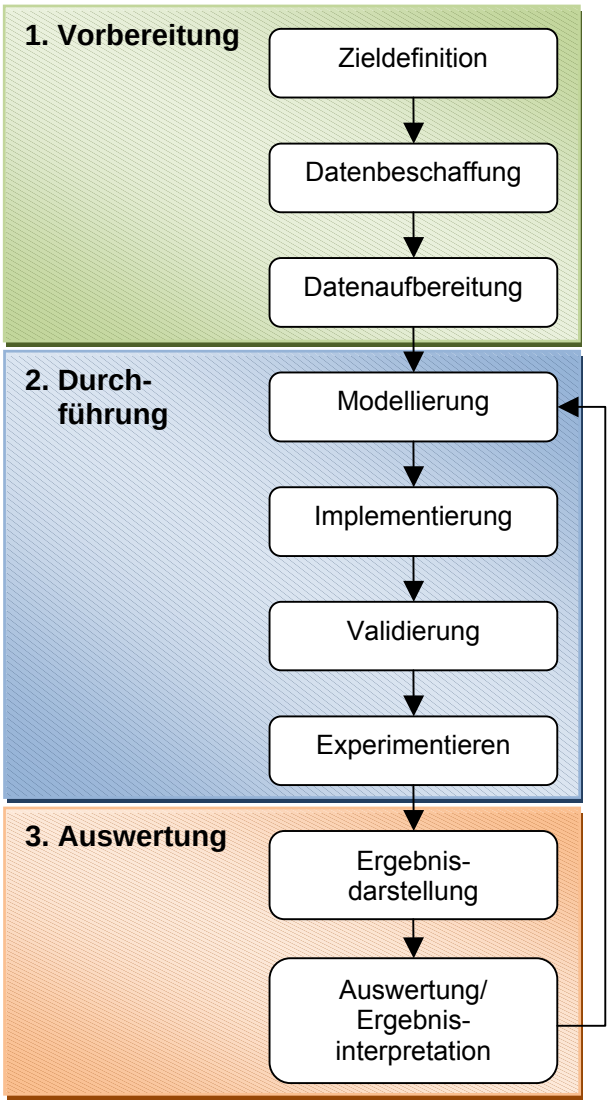


Abbildung 10: Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie

2.4.2 Zielsetzung

Häufig wird der Fehler gemacht, dass die Zielsetzung zu spät erfolgt oder zu unscharf definiert wird. Für die effektive Durchführung einer Simulationsstudie ist jedoch die präzise Definition der Ziele unerlässlich. Denn die Ziele beeinflussen alle nachfolgenden Schritte. Mit einer falschen oder ungenauen Zieldefinition erhält man Ergebnisse, die für den ursprünglich erhofften Erkenntnisgewinn nur von geringer Bedeutung sind.

Jedes Zielsystem setzt sich dabei aus einem vorrangigen Hauptziel (z.B. Ermittlung der Ausbringungsmenge einer Anlage pro Schicht) und mehreren Teilzielen (z.B. Ermittlung der Taktzeit, Ermittlung der Anlagenverfügbarkeit) zusammen.

Ein Beispiel für eine ungenaue Zieldefinition ist die Ermittlung der Kundenzufriedenheit bei der Abwicklung an einem Bankschalter in einer bestimmten Bankfiliale. Diese Fragestellung kann niemals mithilfe von Simulation beantwortet werden, dazu müssen Umfragen bei den jeweiligen Bankkunden durchgeführt werden. Exakt müsste die Zieldefinition lauten: Es soll die durchschnittliche Wartezeit eines Bankkunden in einer Filiale quantifiziert werden: dies kann Simulation leisten.

Um solche Fehler zu vermeiden, ist es ratsam, dass bei der Zieldefinition der Simulationsexperte und der Systemexperte immer eng zusammenarbeiten und die Ziele gemeinsam definieren.

2.4.3 Datenbeschaffung

Im zweiten Schritt einer Simulationsstudie müssen die notwendigen Daten gesammelt werden. Der Aufwand dieses Schrittes ist nicht zu unterschätzen, er stellt anteilig gesehen den größten Teil einer Simulationsstudie dar (vgl. Abbildung 13 auf Seite 28). Es muss zunächst geklärt werden, welche Daten überhaupt notwendig sind, um das System vollständig beschreiben zu können. Dies kann nur nach vorheriger Zieldefinition erfolgen.

In dem, von der ASIM herausgegebenen „Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik“ werden die Datenarten nur in zeit- und mengenspezifische Größen unterschieden. Allerdings fehlen hierbei noch die Prozessdaten, um ein System vollständig beschreiben zu können. Es sind also insgesamt alle drei Datenarten von Bedeutung. Zeitdaten sind z.B. Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Ausfallzeiten. Mengenspezifische Daten können Anzahl der Teile in einer Palette oder die Größe von Zwischenspeichern in [St.] sein. Prozessdaten sind Arbeitsabfolgen oder Montagevorgänge.

Wenn in Abhängigkeit der Zielstellung geklärt wurde, welche Daten benötigt werden, müssen diese zusammengetragen werden. Ist das zu simulierende Objekt oder System schon real

existent, können die Daten aus diesem System abgelesen oder aufgenommen werden. Bei Simulationsstudien von Systemen mit hohem Neuentwicklungsanteil ist es ratsam, auf ähnliche Simulationsstudien oder auf Teildatenmengen von verschiedenen ähnlichen Systemen zurückzugreifen. /ASIM S.14/

Zur Beschaffung der Daten sind Arbeitspläne oder Montagevorranggraphen (für Prozess- und mengenspezifische Daten) geeignet. Zeitdaten können entweder aus vorhanden MDE-/ BDE-Systemen ausgelesen oder selbst aufgezeichnet werden und eventuell durch Erfahrungswerte ergänzt werden. Eine geeignete Hilfestellung bei der Zeiterfassung bieten hierbei die Methoden nach REFA.

2.4.4 Datenaufbereitung

Die gesammelten Daten können nicht ohne Weiteres in das Simulationsmodell implementiert werden. Sie müssen vorher auf Plausibilität geprüft werden. Wenn die Daten glaubhaft für das Simulationsmodell sind, muss in einem nächsten Schritt überprüft werden, ob die Qualität und Quantität der Datenmenge ausreicht, um die Zielsetzung der Simulationsstudie zu erreichen.

Die meisten Prozesszeiten weisen eine gewisse Schwankung auf, hier ist die Überlegung anzustellen, ob es ausreichend ist, die Schwankungen mittels Mittelwert und Streuung abzubilden oder ob hierfür eine statistische Verteilung ermittelt werden muss, da diese es ermöglicht, die Schwankungen der Prozesszeiten genauer abzubilden. Auch die Modellierung von Ausfällen von Maschinen muss genau überlegt und mit der Zielstellung abgestimmt werden.

Als konkretes Beispiel wird die Dimensionierung von Puffern einer Taktstraße betrachtet. Die Puffer sollen Teile auffangen, wenn die nachfolgende Station ausfällt. Wird bei der Modellierung der Störanfälligkeit die Ausfallzeit in Form eines Durchschnittswertes beschrieben (durchschnittliche Ausfallzeit pro Schicht = 14 Minuten), so wird ein anderes Simulationsergebnis entstehen, als wenn das Auftreten der Ausfallzeiten differenzierter betrachtet wird (drei kleine Störungen à 2 Minuten und 1 große Störung à 8 Minuten).

In manchen Fällen kann eine Klassifizierung von Primärdaten sinnvoll sein /ASIM S. 16/, beispielsweise bei einer Logistiksimulation einer Paketsortierstation der Post. Hierbei zählt nicht die Anzahl der verschiedenen tatsächlich vorhandenen Paketgrößen, sondern die Verteilung der Paketgrößen auf die einzelnen Paketklassen (S, M, L, XL).

Generell kann gesagt werden, dass die Aufbereitung der Daten wiederum in unmittelbarer Abhängigkeit zur Zieldefinition steht.

2.4.5 Modellierung

Einige Hinweise zur Modellbildung sind bereits in Abschnitt 2.1.2 auf Seite 8 gegeben. Daher werden hier nur noch ergänzende Hinweise zur Modellierung gegeben.

Aufgabe der Modellierung ist es, das vorhandene System in einem experimentierbaren Modell abzubilden /VDI3633-1 S.14/. Der gewählte Abstraktionsgrad ist wiederum direkt von der Zielstellung der Simulationsstudie abhängig (vgl. Abschnitt 2.1.2). Hierbei gilt die Devise: „Modelliere so genau wie nötig, nicht so genau wie möglich“. Wird diese Regel nicht beachtet, werden die Kosten für die Simulation unnötig hoch, denn ein höherer Detaillierungsgrad führt zur überproportionalen Steigerung der Kosten. Ein höherer Detaillierungsgrad kann sogar zur Verringerung der Aussagekraft führen, weil durch die detaillierte Modellierung von Nebenbedingungen die Gefahr besteht, die Zielstellung der Simulation zu vernachlässigen (Abbildung 11).

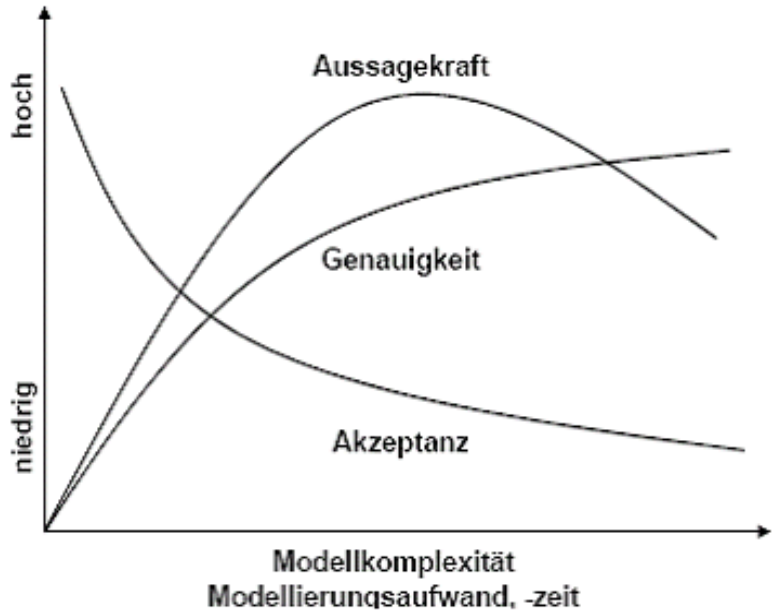


Abbildung 11: Einfluss der Abstrahierung eines Modells (in Anlehnung an /IBF/)

Folgende Vorgehensweise zur Strukturierung des Simulationsmodells ist zu empfehlen (in Anlehnung an /VDI 3633-1 S.16/):

1. *Abgrenzung des Systems zur Umwelt*
   - Definition der Systemgrenzen
   - Festlegung der Schnittstellen zur Kommunikation
   - Festlegung der Schnittstellen für den Materialfluss
2. *Festlegung des strukturellen Modellaufbaus*
   - Bestimmung der notwendigen Modellelemente
   - Festlegen der Elementeigenschaften

- hierarchische Strukturierung der Modellelemente
- Verbindung der in Beziehung stehenden Modellelemente

3. *Definition der Ablaufstruktur*
   - Festlegung, welche Abläufe im Modell stattfinden
   - Ablaufstrukturierung
   - Einfügen der Ablauflogik und der Restriktionen in das Modell

2.4.6 Implementierung

Implementieren bedeutet, das erstellte Simulationsmodell mit all seinen Strukturen in die Simulationssoftware einzubringen, um daraus ein experimentierfähiges Software-Simulationsmodell zu erhalten. Der Großteil der Arbeit liegt hier beim Simulationsexperten. Die Implementierung kann grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen.

Zum einen können Modelle mithilfe von speziellen Simulationsprogrammiersprachen modelliert werden. Dies gewährleistet eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Modellgestaltung, aber auch höhere Aufwände beim wiederholten Erstellen dieser Modelle. Aufgrund der speziellen Problematik der Programmiersprachen kann diese Methode nur von Simulationsexperten durchgeführt werden.

Die zweite Möglichkeit für die Implementierung von Simulationsmodellen ist ein bausteinorientiertes Simulationsprogramm. Hier ist eine Palette an Modellelementen schon vorgefertigt und in einer Bausteinbibliothek abgespeichert. Der Programmbenutzer kann nun das Modell mithilfe von Dialogfenstern implementieren, indem er die Parameter der Standardbausteine an sein Simulationsmodell anpasst. Zusätzlich ist es in manchen Programmen möglich, häufig verwendete Modellelemente selbst als Bibliotheksbaustein abzuspeichern. Bei komplexen Problemstellungen kann aber auch hier nicht auf die Programmiersprache verzichtet werden. Die meisten Programme bieten daher eine Mischform aus bausteinorientiertem und programmiersprachenorientiertem Modellieren an. Somit besteht auch für den Nichtsimulationsexperten die Möglichkeit der Implementierung von Modellen in die Software. Diese Methode bietet zudem den Vorteil der schnellen Modellierung, da die Elemente meist nur per Drag-and-drop im Layout angeordnet und angepasst werden. Sie wird vorwiegend bei allgemein bekannten Simulationsproblematiken angewandt, die zum Teil durch ihren Wiederholungscharakter gekennzeichnet sind, wie z.B. in der Logistik, Produktion, Montage.

2.4.7 Validierung

Die Validierung dient zur Überprüfung des Modells. Es wird getestet, ob das Modell die zu beschreibende Wirklichkeit hinreichend genau abbildet. Die im Modell vorhandenen Vorgänge werden darauf geprüft, ob sie logisch richtig und realistisch ablaufen.
Dazu werden erste Simulationsläufe durchgeführt und ausgewertet, ohne dabei systematische Ergebnisreihen zu dokumentieren /ASIM S.19/. Die erzielten Ergebnisse müssen dann vom Anwender ausgewertet und auf Plausibilität überprüft werden. Dazu kann bei bestehenden Systemen auf Ist-Daten zurückgegriffen werden, bei neuen Anlagen hingegen wird eine entsprechende Qualifikation des Anwenders vorausgesetzt /VDI3633-1 S.20/.
Weiterhin hilfreich für die Validierung ist die Animation. Das Modell muss nicht unbedingt in der finalen Animation dargestellt werden, aber diese muss ausreichend sein, um die Aktivitäten des Systems beurteilen zu können. Mithilfe dieser Animation können schnell erste grobe Fehler entdeckt werden. /Kelt-07 S.546/

2.4.8 Experimentieren

Simulation liefert von sich aus keine optimale Lösung für das aufgestellte Zielsystem. Daher sind verschiedene Simulationsläufe notwendig, um ein Erreichen des Ziels zu ermöglichen. Dies ist die Phase des Experimentierens.
Beim Experimentieren werden die verschiedenen Parameter der Simulationselemente geändert und die jeweiligen Ergebnisse interpretiert. Wichtig hierbei ist es, die Parameter nicht in einer wahllosen Art und Weise abzuändern, sondern nach einem vorher festgelegten Versuchsplan /ASIM S.19/. Es darf auch pro Experiment jeweils nur ein Parameter geändert werden, da sonst der Einfluss einzelner Parameter nicht ersichtlich würde. Doch auch hierbei ist nicht garantiert, dass diese Wahl der Parameter ein Optimum hinsichtlich der Zielerfüllung darstellt. Durch das Vorhandensein eines Versuchsplanes wird sichergestellt, dass das Experimentieren so effizient wie möglich erfolgt, denn die Anzahl der Experimente steigt mit der Anzahl der Parameter überproportional.
Hierfür bieten einige Simulationsprogramme einen Experimentiermanager. In diesem kann festgelegt werden, welche Parameter sich in welcher Form ändern. Es können dann automatische Simulationsläufe durchgeführt werden, deren Ergebnisse übersichtlich in Tabellen oder Diagrammen dargestellt werden. Gerade bei aufwendigen Simulationsmodellen kann so eine Menge Zeit eingespart werden, da für die Durchführung der Experimente kein Bediener vorhanden sein muss. Durch das Verlegen dieser Experimente auf die Nacht oder auf das Wo-

chenende wird zudem vermieden, dass die Rechentechnik während der Arbeitszeit für andere Anwendungen blockiert ist.

Eine weitere Methode des Experimentierens sind Optimierungstools, wie z.B. ISSOP© der Firma Dualis GmbH. Hier laufen die Simulationsexperimente nach Modellbildung und Zieldefinition selbstständig ab. Mehrere Algorithmen vergleichen nach eigenständiger Veränderung der Parameter die Erfüllung der Zielkriterien und ändern diese automatisch ab und vergleichen sie erneut. Dieser Iterationskreis wird solange durchgeführt, bis eine optimale Lösung gefunden wurde.

2.4.9 Ergebnisdarstellung und –aufbereitung

Dieser Schritt muss nach jedem Simulationsexperiment erfolgen, um die Nachvollziehbarkeit der Simulationen zu garantieren. Es ist hierbei wiederum von der Zieldefinition abhängig, welche Daten gesammelt und in welcher Form diese dargestellt und aufbereitet werden müssen. Bei einigen Fragestellungen reicht eine kurze Beschreibung des Experimentes hinsichtlich der Zielerfüllung aus, in anderen Fällen sind konkrete Werte in Tabellenform oder in Diagrammform mit vorangegangener statistischer Auswertung unumgänglich.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Varianten der Ergebnisdarstellung unterschieden: Onlinedarstellungen (Abbildung 12) erfolgen zeitgleich zur Simulation und beschreiben dabei den Istzustand des Systems. Offlinedarstellungen werden nach dem Simulationslauf erzeugt und beschreiben den Simulationslauf als Ganzes. Vorteilhaft bei einer Onlinedarstellung ist das Vorhandensein aktueller Systemzustände. So kann z.B. bei einem sich abzeichnenden unerwünschten Verhalten die Simulation abgebrochen werden, um das Modell zu ändern. Ein Warten bis zum Ende der Simulation erübrigt sich. Werden hingegen fundierte statistische Analysen für die Bewertung eines Systems benötigt, empfiehlt sich die detailliertere Offlineauswertung. Hierbei werden die Daten im Hintergrund beständig über den Simulationslauf gesammelt und können anschließend dargestellt und weiter aufbereitet werden. /VDI 3633-3 S.18/

Die Datenmengen, die bei einer Offlineauswertung anfallen, sind meist enorm. Einige Systeme sammeln dabei alle Daten, egal ob sie für die Auswertung von Bedeutung sind oder nicht. Daher müssen in einem ersten Schritt sämtliche unwichtige Daten aus der Aufzeichnung entfernt werden. Die übrigen Datensätze liegen häufig in einer für den Anwender nicht verständlichen oder gebrauchsfähigen Form vor /VDI3633-3 S. 9/. Beispielsweise ordnet das System fehlerhafte Teile nach der Zeit der Entstehung, den Anwender interessiert aber, wie viele Teile von welcher Sorte fehlerhaft sind. Hier müssen die Daten exportiert und in einem Tabellenkalkulationsprogramm aufbereitet werden. Die meisten Programme bieten hierfür

entsprechende Schnittstellen. Die Weiterverarbeitung in einem üblichen Tabellenkalkulationsprogramm, z.B. MS-Excel, ist generell zu empfehlen, da hier auch geeignete Darstellungen der Daten, z.B. als Linien- oder Kreisdiagramm, erzeugt werden können und die Auswertemöglichkeiten vielfältiger sind.

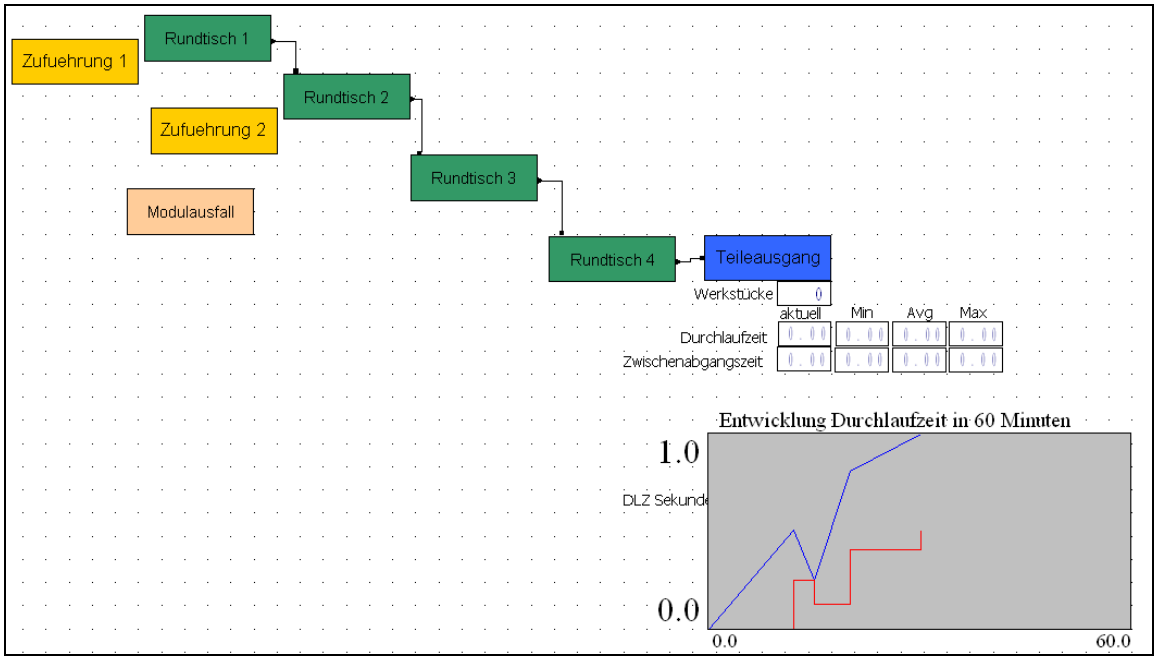


Abbildung 12: Simulationsmodell mit Onlineauswertung (Bildschirmfoto Arena)

Generell ist zu sagen, dass der Aufwand für die Ergebnisdarstellung und -aufbereitung nicht zu unterschätzen ist. Die Interpretation eines Simulationslaufes ist direkt von der Qualität der Aufbereitung und der Darstellung der Daten abhängig.

2.4.10 Auswertung und Ergebnisinterpretation

In jedem Fall liefert eine Simulationsstudie Ergebnisse. Über die Art und Qualität dieser Ergebnisse wurde in Abschnitt 2.4.9 schon ausführlich diskutiert. Die eigentliche Aufgabe ist es nun, diese Ergebnisse richtig zu interpretieren. Dafür ist ein hohes Systemverständnis eine Grundvoraussetzung. Daher wird diese Aufgabe zum größten Teil vom Anwenderexperten übernommen.

Interpretieren bedeutet dabei, die Zusammenhänge der Ergebnisse und des Modells zu analysieren, um daraus Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen zu ziehen. Geht aus den vorliegenden Ergebnissen die Nichterfüllung des Zielsystems hervor, so ist dieser Punkt Ausgang für eine Iteration in der Durchführung einer Simulation (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 10), die zur Modellmodifikation und anschließenden Simulation führt. Bestätigen aber die Ergebnisse die Zielerfüllung, so können alle Simulationsdaten dokumentiert und die Simulationsstudie abgeschlossen werden.

2.5 Nutzen und Aufwand von Simulation

Der Nutzen von Simulation lässt sich nur schwer in quantifizierbaren Größen ausdrücken. Die Verwendungszwecke und die Ansprüche an die Simulation beeinflussen dabei den Nutzen von Simulation maßgeblich /IBF/. Die Darstellung von Nutzen in der Form von Zeitersparnis oder Geldersparnis ist im Voraus nur schwer abschätzbar, da das Optimierungspotenzial erst im Nachhinein ersichtlich wird.

Die VDI-Richtlinie 3633 beziffert den Aufwand von Simulation mit 0,5 % der relevanten Investitionssumme. Der Nutzen hingegen liegt bei 2 % bis 4 % der Investitionssumme. Somit errechnet sich ein durchschnittliches Kosten-/ Nutzenverhältnis von 1:6 /VDI3633 S.22/! Diese Schätzung wird auch von der Industrie bestätigt, beispielsweise von Mercedes-Benz. Bei einer Simulationsstudie hatte Mercedes-Benz einen Aufwand von ca. 7 Millionen Euro zu verzeichnen, demgegenüber stand eine Einsparung von 50 Millionen Euro /SIMP S.6/. Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) gibt weitere Beispiele für den Nutzen von Simulation an:

- *„Bestandsreduktion um bis zu 50%*
- *Reduktion der Durchlaufzeiten um bis zu 55%*
- *Erhöhung der Termintreue um bis zu 10%“* /IPA/ S.1/

Diese Zahlen repräsentieren nur einzelne Beispiele, sie sind keineswegs zu verallgemeinern. Das konkrete Aufwand-/ Nutzenverhältnis ist von Fall zu Fall unterschiedlich und kann unter Umständen auch eins oder kleiner sein.

Der Nutzen, der durch den Einsatz von Simulation entstehen kann, resultiert aus den vielfältigen Vorteilen die Simulation bietet /ASIM S.7, 10; ISL; Kuhn-98 S. 7/:

- komplexe Systeme, die mithilfe der menschlichen Vorstellungskraft allein nicht mehr geistig durchdrungen werden können, werden durch Modellbildung, Simulation und Animation verständlicher.
- Simulation setzt dort an, wo die Grenzen anderer Planungsmethoden erreicht sind.
- Aufgrund der Notwendigkeit der Modellierung werden die Planer zur intensiveren gedanklichen Durchdringung aller Systemkomponenten sowie deren Zusammenspiel gezwungen. Erste ablauftechnische und konstruktive Fehler werden erkannt.
- Experimente am Realobjekt oder am System lassen sich aus organisatorischen Gründen nicht verwirklichen, am Simulationsmodell ist dies kein Problem.

- Experimente im Simulationsmodell sind kostengünstiger und können parallel zur laufenden Produktion erfolgen, ohne diese einzuschränken.
- Die Ablaufgeschwindigkeit von Simulationsexperimenten lässt sich stufenlos verstellen. So können viele Simulationsläufe in kurzen Zeiträumen realisiert werden oder wichtige Details in Zeitlupe untersucht werden.
- Wichtige Entscheidungen können auf Grundlage fundierter Simulationsergebnisse getroffen werden.
- Die Auswerte- und Präsentationsmöglichkeiten sind vielfältig.
- Extreme Situationen sind problemlos simulierbar.
- Vor- und Nachteile verschiedener Varianten werden offensichtlich.

Ein gut aufbereitetes Modell mit Animationen, eventuell sogar in 3D, ist für eine überzeugende Präsentation der Anlage beim Kunden sehr gut geeignet und stellt somit einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz dar /PROD/.
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Simulation als eine Art Versicherung bei der Findung von Entscheidungen komplexer Zusammenhänge dient, deren Nutzen im Voraus schlecht abschätzbar ist. Durch die Validierung der Anlagen in der Planungsphase können Risiken minimiert werden. Zudem stellt Simulation und Animation, besonders von 3D-Modellen, ein effektives Werkzeug für die Überzeugung der Kunden in der Angebotsphase dar. /IPA S.1; PROD; SIMP S.6/
Um das Werkzeug der Simulation nutzen zu können, sind einige Aufwendungen notwendig. Es entstehen dabei Kosten für einzusetzendes Simulationspersonal, Lizenzen für Simulationssoftware, Rechentechnik, Folgekosten durch Produktupdates und Wartungsverträge. Diese Kosten in quantifizierbaren Größen auszudrücken ist für allgemeine Fälle aus mehreren Gründen nicht möglich. Zum einen schwanken die Lizenzkosten der einzelnen Programme enorm: Sie bewegen sich im Bereich von ca. 3.000 € bis ca. 50.000 €. Die entsprechenden Folgekosten für Wartung und Update streuen ähnlich weit. Zum anderen ist der Personalaufwand bei jedem Simulationsprojekt unterschiedlich. Werden nur kleinere Anlagen oder Maschinen mit einfachen Prozessen simuliert, ist der Aufwand entsprechend geringer als bei einer Simulation komplexer Anlagen. Außerdem spielen Faktoren wie Mitarbeiterschulung, Vertrautheit mit dem Simulationssystem, Ähnlichkeit der Simulationsprojekte und die Erfahrung der Mitarbeiter eine enorme Rolle für die Abschätzung des zeitlichen Verlaufs einer Simulationsstudie. Diese Punkte lassen eine allgemein gültige, quantifizierte Schätzung der Aufwände von Simulation nicht zu.

Qualitativ lassen sich die Aufwände entsprechend dem beschriebenen Vorgehen auf Seite 18ff. in folgende Bereiche unterteilen: Einarbeitung in das Gebiet der Simulation, Auswahl eines geeigneten Simulationsprogramms und Durchführen einer Simulationsstudie. Die Verteilung der Aufwände für das Durchführen einer Simulationsstudie wird in Abbildung 13 dargestellt. Die hier aufgeführten Verhältnisse dienen als Anhaltspunkt.

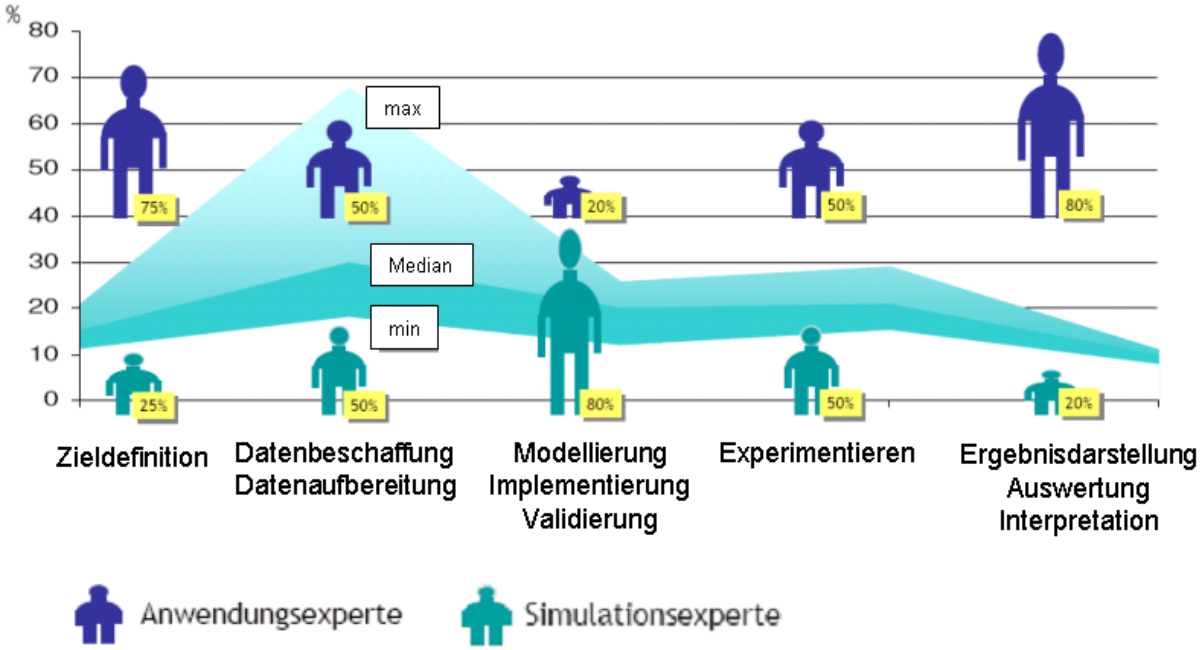


Abbildung 13: Aufwandsverteilung einer Simulationsstudie /VRES/

2.6 Grenzen der Simulation

Simulation ist keine universelle Lösung für alle produktionstechnischen Probleme. Auch hier zeigen sich Grenzen auf, die Alternativen verlangen (siehe Abschnitt 2.7). Simulation funktioniert nach dem GIGO[4]-Prinzip, das bedeutet, dass die Qualität der Ergebnisse nur so gut ist, wie die verwendeten Primärdaten (vgl. Abschnitt 2.1.5) /SIMP S. 5/.

Weiterhin liefert Simulation nicht das optimale Ergebnis nach einem automatischen Algorithmus. Es müssen immer mehrere Experimente durchgeführt und deren Ergebnisse dokumentiert werden. Im Anschluss kann die optimale Lösung nur aus den durchgeführten Testläufen ausgewählt werden. Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass außerhalb dieser Ergebnismenge eine Parametervariante existiert, die zu einem besseren Ergebnis führt. Auch die Überprüfung des Modells auf das logische Ablaufverhalten (Validierung) gemäß dem zu simulierenden System kann nicht durch die Software abgedeckt werden.

[4] engl. Garbage In – Garbage Out

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Simulation ein vergleichsweise aufwendiges Verfahren ist, dessen Einsatz sich nur rechtfertigen lässt, wenn andere Verfahren keine Lösungsansätze liefern. Der Erfolg einer Simulationsstudie ist dabei im großen Maße von der Qualifikation des Mitarbeiters und der Eignung des Simulationsprogramms abhängig.

2.7 Alternativen zu Simulation

Obwohl Simulation viele bedeutende Vorteile und auch Lösungen für Problemstellungen bietet, bei denen andere Verfahren nicht mehr einsetzbar sind, ist im Voraus zu prüfen, ob alle alternativ sinnvollen Möglichkeiten zur Lösungsfindung ausgeschöpft sind. Aufgrund des relativ hohen Aufwandes einer Simulationsstudie bieten andere Verfahren den Vorteil der schnelleren Durchführbarkeit bei gleichzeitig geringerem Aufwand /Kuhn-98 S. 7/.

Analytische Methoden bieten hierbei eine Alternative zur Simulation. Sie sind hinsichtlich des Aufwandes, effektiver als Simulation. In der Konstruktion können sie die weit verbreitete FEM[5]-Simulation ergänzen, z.B. durch das Rittersche Schnittverfahren /WIK2/. Auch in der Maschinenbelegungsplanung werden analytische Methoden eingesetzt, um z.B. Engpassmaschinen zu ermitteln. Die Grenzen analytischer Methoden sind allerdings erreicht, wenn zur Modellbildung nicht nur Abhängigkeiten, sondern auch Zufälligkeiten benötigt werden. Eine analytische Methode fällt beispielsweise aus, wenn für die Ermittlung der Engpassmaschine nicht klar definiert werden kann, wann welche Teile in die Produktion eingespeist werden (Zufallsverteilung je nach Auftragslage).

Eine andere Alternative stellt das Experiment am Realobjekt dar. Der Nachteil ist, dass dieses Verfahren meist teurer, aufwendiger, zeitintensiver und eventuell gefährlicher ist als die Simulation am Modell. Experimentieren am Realobjekt eignet sich insbesondere bei Projekten mit hohem Wiederholwert bei denen schon ähnliche Objekte zur Verfügung stehen. Hier ist es günstiger das vorhandene Realobjekt zu manipulieren, anstatt das Objekt komplett neu zu modellieren.

[5] Finite-Elemente-Methode

3 Analyse des Istzustandes der Firma

3.1 Ausgangspunkt für die Untersuchung

Dieses Kapitel dient zur Beschreibung der aktuellen Arbeitsweise des Unternehmens. Es werden dabei die für Simulation potenziell sinnvollen Einsatzgebiete untersucht, indem konkrete Punkte herausgearbeitet werden und die aktuelle Methodik zur Umsetzung aufgezeigt wird. Das Kapitel bildet die Basis des nachfolgenden, in dem der Sollzustand nach Einführung der Simulation beschrieben wird.

Momentan wird Simulation als Methode zur Aufgabenbearbeitung im Unternehmen nicht eingesetzt. Für die Herausarbeitung potenzieller Einsatzgebiete wurde die Management-Dokumentation als Grundlage genutzt. Hier sind das Firmenorganigramm, das Netzwerk der Geschäftsprozesse, alle relevanten Verfahrens-, Arbeits- und Prüfanweisungen sowie Formblätter, Normen und Rechtsvorschriften hinterlegt. Sie eignet sich besonders gut für die Analyse des Istzustandes, da sie die Verfahren in einer standardisierten Form dokumentiert und als firmeninterne Norm für die Bearbeitung von Aufträgen gilt. Aufgabe des Management-Handbuches ist es, die Produkt- und Umweltqualität der SITEC GmbH beständig zu sichern bzw. zu steigern. /SITE3/

3.2 Anwendungsgebiete für Ablaufsimulation in der SITEC GmbH

3.2.1 Geschäftsfelder der SITEC GmbH

Die SITEC Industrietechnologie GmbH ist in mehreren Geschäftsfeldern tätig. Sie forscht und produziert auf folgenden Gebieten:

- Laseranlagen,
- Montageanlagen,
- Prüfstände,
- MDE-/ BDE Systeme,
- ECM -Anlagen.

Ablaufsimulation soll ausschließlich im Bereich der Montageanlagen eingesetzt werden, da hier die Komplexität der ablaufenden Prozesse besonders hoch ist und auch weiterhin steigen wird. Dabei wird auch das Geschäftsfeld der Prüfstände tangiert, da in den meisten Fällen Prüfstationen in den Montageanlagen integriert sind. Diese beiden Geschäftsfelder überschneiden sich also in einigen Punkten. Im Bereich der Laseranlagen und ECM-Anlagen ist eine Simulation der Ablaufprozesse nicht sinnvoll, da hier aufgrund der Überschaubarkeit der

Prozesse kein Erkenntnisgewinn zu erwarten ist. Der Bereich MDE / BDE beschäftigt sich mit der Erfassung und Aufbereitung von Maschinen- bzw. Betriebsdaten. Es ist kein Ansatzpunkt für Simulation gegeben, allerdings sind die Maschinen- und Betriebsdaten bei der Beschaffung von Primärdaten für die spätere Simulation von Bedeutung.

Im Geschäftsfeld der Montageanlagen ist ein Einsatz von Simulation vor allem in der Angebotsphase, der Realisierungsphase und bei Änderungen der Anlage Erfolg versprechend (Abbildung 14).

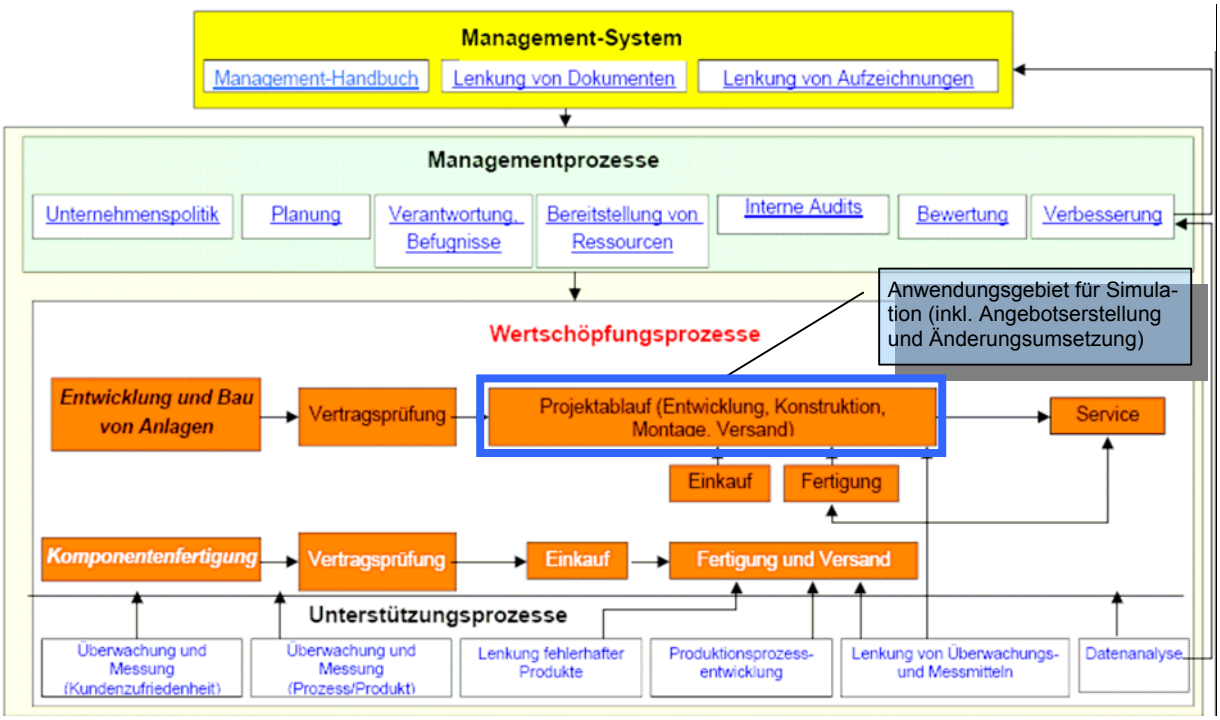


Abbildung 14: Netzwerk der Geschäftsprozesse /SITE4/

3.2.2 Anwendung in der Angebotsphase

Die Erarbeitung von Angeboten für spezialisierte komplexe Anlagen stellt immer wieder eine Herausforderung dar. Es müssen in einem kurzen Zeitraum (ca. 3 Wochen) die Aufgabenstellung des Kunden vollständig erfasst, die Anlage in grober Form projektiert sowie Forderungen im Lastenheft garantiert werden.

Simulation kann hier die Erarbeitung technischer Lösungskonzepte sowie verschiedene kommunikative Aufgaben, z.B. Beratungen im Konzeptausschuss oder Kundenkonsultationen, unterstützen. Die Defizite liegen hier vor allem bei der Berechnung von Anlagenkennwerten, wie z.B. Taktzeit, Verfügbarkeit, Durchlaufzeit. Die analytischen Methoden können die Streuungen der Prozesszeiten und Zufälligkeiten des Maschinenausfalls nicht berücksichtigen. Erfahrene Projektleiter schätzen diese Kennwerte relativ gut ab. Sie und vor allem neue,

unerfahrene Projektleiter erhalten durch Simulation eine bessere Sicherheit bei der Abschätzung dieser Werte. Im kommunikativen Bereich fehlen vor allem multimediale Methoden zur dynamischen Darstellung der ablaufenden Prozesse. Dadurch besteht die Gefahr, dass Personen, die nicht direkt an der Entwicklung und Konstruktion der Anlage beteiligt sind, die Funktionsmechanismen nicht vollständig verstehen. Dies kann zu Missverständnissen und Fehlinterpretationen führen. In der Anlage 1 sind die Verfahrensanweisung, die Methoden und Zuständigkeiten der Angebotsbearbeitung detailliert dargestellt.

3.2.3 Anwendung in der Realisierungsphase

Die Realisierungsphase beschreibt den Zeitraum zwischen Auftragsvergabe und Auslieferung. Hierbei soll Simulation bei der Durchführung der Konstruktion, bei Projektbesprechungen und beim Einleiten von Maßnahmen nach z.B. negativen Leistungstests zur Anwendung kommen. Die Probleme bei der Konstruktion sind analog zu jenen bei der Erarbeitung eines technischen Lösungskonzeptes. Im Laufe der Konstruktion bilden sich die geplanten Prozesse immer detaillierter ab. Es liegen nun Kennwerte von Zukaufteilen vor, wie z.B. Verfahrgeschwindigkeiten von Robotern. Der steigende Detaillierungsgrad der Konstruktion kann jedoch nicht genutzt werden, um die Parameter der Gesamtanlage genauer abzuschätzen, da das menschliche Vorstellungsvermögen die detaillierten Prozesse nicht mehr überblicken kann. Jede Montageanlage wird vor Auslieferung intensiv getestet, um eine gleichbleibend hohe Qualität zu gewährleisten. Treten bei diesen Tests Probleme auf oder werden die geforderten Parameter nicht eingehalten, müssen Baugruppen ausgetauscht und durch leistungsfähigere ersetzt werden. Simulation soll diese Kosten- und Zeitaufwände durch virtuelle Variantenvergleiche minimieren. Die gesamte Verfahrensanweisung sowie Methoden und Zuständigkeiten sind in der Anlage 2 hinterlegt.

3.2.4 Anwendung bei Änderungswünschen

Das dritte Anwendungsgebiet für Simulation ist die Bearbeitung von Änderungswünschen des Kunden. Je nach Stand der Konstruktion und Montage können Änderungen berücksichtigt werden. Es treten Situationen auf, in denen der Kunde schon bei fortgeschrittener Umsetzung die Taktzeit der Anlage noch um 5 – 10 % senken will. Die Entscheidung, ob diese Änderungen durchführbar sind und welche Kosten dadurch entstehen, ist oft schwer abzuschätzen. Simulation bietet mit der Möglichkeit der virtuellen Experimente am Simulationsmodell eine effektive Methodik, diesen Entscheidungsprozess zu unterstützen. Der vollständige Ablaufplan mit Methoden und Zuständigkeiten ist in der Anlage 3 abgebildet.

3.2.5 Zusammenfassung

Die Analyse des Istzustandes ergab, dass vor allem bei der Ermittlung von Kennwerten im frühen und mittleren Planungsstadium, beim Vergleich verschiedener Lösungskonzepte und bei der Präsentation von Lösungsvorschlägen einige Defizite zu verzeichnen sind. Die Tatsache, dass die einzelnen Prozesszeiten unterschiedlich stark streuen, dass Störungen zufällig verteilt auftreten und unterschiedlich lang anhalten und dadurch die Ermittlung der Taktzeit, Verfügbarkeit erschweren, ist ein Hauptgrund für die Einführung von Simulation im Unternehmen. Zudem wurden Schwierigkeiten bei der Vermittlung von Lösungskonzepten und Konstruktionsentwürfen analysiert. Die hier angewandten Methoden (Zeichnungen, Ablaufdiagramme, verbale Beschreibungen) können die Dynamik der Prozesse in der Anlage nur unzureichend darstellen. Anhand neuer Kommunikationsmethoden besteht die Möglichkeit, Missverständnisse zu minimieren und das Verständnis der Montageanlage beim Kunden und in anderen, firmeninternen Abteilungen (z.B. Programmierung) zu steigern.

4 Beschreibung des Sollzustandes in der Firma

4.1 Ziele und Motivation des Simulationseinsatzes

Mit der Einführung von Simulation sollen vorwiegend zwei Hauptziele erreicht werden. Zum einen soll zukünftig eine Validierung der Anlagenkonzepte, vor allem in der Angebotsphase, ermöglicht werden. Dies bedeutet, dass Anlagenkennwerte schon zu einem frühen Zeitpunkt relativ gesichert vorliegen und nicht nur auf Erfahrungen und Vermutungen basieren. Zum anderen soll die Kommunikation innerhalb des Unternehmens und mit dem Kunden verbessert werden.

Zur Erreichung dieser zwei Gesamtziele ist eine Reihe von Teilzielen notwendig (Abbildung 15). Um die Planungssicherheit zu erhöhen, muss es möglich sein, eine sicherere Pufferdimensionierung vornehmen zu können. Verschiedene Varianten müssen künftig, unter anderem bedingt durch den kurzen Angebotszeitraum (ca. 3 Wochen), schneller und aussagekräftiger miteinander verglichen werden können. Die Ermittlung der Taktzeit, Durchlaufzeit und Verfügbarkeit soll zukünftig empirisch möglich sein. Schwachstellen und Fehler im Ablauf der Prozesse dürfen nicht erst nach Fertigstellung der Anlage erkennbar sein, sondern müssen schon in der Konzeptionsphase erkannt werden können.

schneller & aussagekräftiger Variantenvergleich
sichere Pufferdimensionierung
Ermittlung empirischer Anlagenkennwerte (Taktzeit, Verfügbarkeit usw.)
Aufzeigen von Ablauffehlern und Schwachstellen im Voraus
Steigerung der Planungssicherheit sowie Verbesserung der internen und externen Kommunikation
Verbesserung der Angebotspräsentation beim Kunden
Verbesserung der internen Präsentation verschiedener Anlagenkonzepte
Legende:
Gesamtziel
Teilziele Anlagenvalidierung
Teilziele Kommunikationsverbesserung

Die Motivation zur Erreichung dieser definierten Ziele liegt darin, dass die SITEC GmbH ihre Zuverlässigkeit erhöhen und ihre Kosten senken will (Teilziele Anlagenvalidierung). Dem Kunden möchte sie ihre Kompetenzen aufzeigen und sein gewonnenes Vertrauen weiter steigern (Teilziele Kommunikationsverbesserung). Der Anlagenbau ist ein Sondermaschinenbau, er basiert auf einer engen Zusammenarbeit zwischen Kunden und Lieferanten. Als entscheidendes Kriterium, neben dem Preis einer Anlage, ist das Vertrauen in den Lieferanten und seiner Produkte ausschlaggebend für die Vergabe von Aufträgen. Dieses Vertrauen muss errungen werden, da der Kunde, anders als bei Katalogware, das Produkt erst nach der Auftragsvergabe und möglichen Anzahlungen testen und bewerten kann. Hier liegt das Ziel der verbesserten Kundenkommunikation begründet, denn nur wenn der Kunde die Funktionsweise und die Abläufe der angebotenen Anlage vollständig versteht, gewinnt er Vertrauen in dieses Produkt und seinen Hersteller.

4.2 Einsatzgebiete, Methoden und Effekte durch den Einsatz von Simulation

Wie in Abschnitt 3.2 „Anwendungsgebiete für Ablaufsimulation in der SITEC GmbH“ erörtert, wird die Simulation in Zukunft bei der Angebotserarbeitung, während des Projektablaufs und bei Änderungen des Kunden im Bereich der Montageanlagenplanung eingesetzt. Mit der Anwendung von Simulation als Methodik zur Erreichung der in Abbildung 15 dargestellten Ziele ergeben sich neue Möglichkeiten hinsichtlich der Umsetzung von Planung und Realisierung der Montageanlagen.

Für die Validierung der Anlagenkonzepte bringt die Nutzung von Simulation nachfolgende Vorteile:

1. Es wird zukünftig möglich sein, Taktzeiten unter Berücksichtigung der verschiedenen Verteilungszeitmodelle der Prozesse zu ermitteln.
2. Der Teilefluss kann nicht nur als Momentaufnahme betrachtet, sondern dynamisch und animiert am Bildschirm abgebildet werden, wodurch eine effiziente Pufferdimensionierung ermöglich wird.
3. Durch das Simulieren von Rüst-, Stör- und Reparaturprozessen über einen längeren Zeitraum können fundierte Aussagen über die Verfügbarkeit von geplanten Anlagen getroffen werden. Die Fähigkeit, in der Planungsphase verschiedene Varianten schneller und effektiver miteinander vergleichen zu können, Schwachstellen und Potenziale der einzelnen Konzepte aufzudecken, erhöht die Planungssicherheit zukünftig enorm.
4. Sämtliche Kennzahlen von Anlagen basieren nicht mehr ausschließlich auf Erfahrung und Schätzung, sondern auf begründet ermittelten Simulationsergebnissen. Die im

Laufe der Planung und Konstruktion von Anlagen immer genauer und sicherer werdenden Planungsdaten können durch die Detaillierung des vorhandenen Simulationsmodells sofort implementiert werden. Infolgedessen steigt die Sicherheit der Simulationsergebnisse.

5. Nach Abschluss der Fertigung und Montage können Vorabnahmen oder Leistungstests zu unbefriedigenden Ergebnissen führen. Hier müssen nun nicht mehr sofort die erforderlich gewordenen Änderungen an der realen Anlage durchgeführt werden, sondern können zunächst schneller und kostengünstiger am Modell simuliert werden. Ineffektive Maßnahmen werden so im Voraus erkannt. Die Beschaffung und Montage anderer Baugruppen und Kaufteile wird nur noch notwendig sein, wenn diese sich vorher im Simulationslauf bewehrt haben.

Als Präsentations- und Kommunikationstool soll die ausgewählte Simulationssoftware vorwiegend für die Kundenbetreuung, für Projektbesprechungen sowie zu Beratungen des Lösungskonzeptes verwendet werden. In animierten Simulationsmodellen, werden die dynamischen Abläufe der Anlage besser dargestellt als in anderen Dokumenten wie z.B. verbalen Ablaufbeschreibungen. Die Simulationsläufe können statistisch ausgewertet und aufbereitet werden. Tabellen und Diagramme stellen ein geeignetes Mittel dar, um diese Daten zu präsentieren.

Alle simulationsrelevanten Prozesse sind in den Ablaufdiagrammen der Anlage 1 bis 3 abgebildet. Hier werden detailliert die Einsatzgebiete, die Zuständigkeiten sowie der Vergleich zwischen Ist- und Sollzustand dargestellt. In Tabelle 1 auf Seite 37 werden die definierten Ziele, Methoden und daraus resultierenden Effekte noch einmal übersichtlich zusammengefasst. Die hier beschriebenen Methoden definieren zu einem großen Teil die später notwendigen Funktionalitäten der Simulationssoftware. Sie werden im Rahmen der Nutzwertanalyse gewichtet und tragen somit entscheidend zur Auswahl der Software bei (siehe Kapitel 5).

Tabelle 1: Ziele, Methoden und Effekte der Simulation im Unternehmen

Ziel	Methode	Effekt
Empirische Ermittlung der Anlagenkennwerte: - Ausbringung [Stck. / ZE] - Auslastungen der Stationen [%] - Taktzeit [s] - Verfügbarkeit der Anlage [%]	- Durchführen mehrerer Simulationsläufe - Simulieren von Stör-, Rüst- und Reparaturprozessen	- Vorliegen empirischer Kennwerte auf Grundlage der Simulationsläufe - statistische Auswertungen der Simulationsläufe erhöhen Zuverlässigkeit der Aussagen
Gesicherte Pufferdimensionierung	- Simulation dynamischer Ablaufprozesse - Animation der Simulation - Variieren von Größe und Platz der Puffer - Ergebnisauswertung	- Materialstau vor Stationen wird ersichtlich - Auswirkungen geänderter Puffergrößen und -Plätze wird abgebildet - optimale Pufferdimensionierung wird ermöglicht
Aufzeigen von Ablauffehlern und Schwachstellen der Lösungskonzepte	- Plausibilitätsprüfung des Simulationsmodells - Simulieren von Extremsituationen - Ergebnisauswertung	- Modellierung und Plausibilitätsprüfung erfordern intensive planerische Auseinandersetzungen mit dem Prozess und der Anlage, versteckte Fehler werden schneller entdeckt - Schwachstellen werden durch Belastungstests - offensichtlich
Schneller & effektiver Variantenvergleich	- Simulation mit geänderten Parametern - Änderungen und verschiedene Varianten werden im Simulationsmodell realisiert - Ergebnisauswertung	- Zeit- und Kostenersparnis, da nur erfolgsversprechende Anlagenkonzepte weiterverfolgt und umgesetzt werden - Zeit- und Kostenersparnis, da die Effekte von Änderungen der Anlage im Voraus erkannt werden, das „Probieren“ am realen Objekt entfällt
Verbesserung der Kommunikations- und Präsentationsmöglichkeiten	- Erstellung von animierten Simulationsmodellen (eventuell sogar in 3D) - Einbinden der realen 2D-CAD-Zeichnungen oder 3D-Volumenmodelle - Variation der Zoomstufe und der Simulationsgeschwindigkeit - grafisches Aufbereiten der Simulationsergebnisse	- animierte Simulationsmodelle bieten Diskussionsgrundlage - ablaufende Prozesse können in Echtzeit verfolgt werden - wichtige Prozesse können in Zeitlupe, unwichtige im Zeitraffer betrachtet werden - Diagramme und Tabellen fassen Ergebnisse in übersichtlicher und aussagekräftiger Form zusammen

4.3 Zuständigkeiten & Aufwände

Es ist geplant, die Simulationsstudien später im Unternehmen selbst durchführen zu können. Die Verantwortung hierbei teilen sich die zuständigen Projektleiter sowie die Anlagenkonstrukteure. Hierfür werden in der Konstruktionsabteilung Konstrukteure in dem ausgewählten Simulationsprogramm geschult. Sie sollen vorwiegend die Modellierung neuer Modellbau-

steine übernehmen. Der Projektleiter hingegen, als Bindeglied zwischen Kunden und Konstruktion, übernimmt die Modellierung der kompletten Montageanlagen aus den vorhandenen Modellbausteinen sowie kommunikative Aufgaben der Anlagenpräsentation. Der Vorteil in dieser Aufteilung der Verantwortlichkeiten besteht darin, dass der Konstrukteur die zwei Personen des Simulations- und Anlagenexperten in Personalunion vereinigt. Es geht somit kein Wissen zwischen diesen beiden Personen verloren und lange Erklärungen und Einführungen in die Montageproblematik können umgangen werden. Der Konstrukteur kann später bestens einschätzen, ob das Simulationsmodell plausible Ergebnisse liefert. Der Projektleiter hingegen, übernimmt im Ablauf überwiegend koordinierende Aufgaben und kann daher nicht alle konstruktiven Details der Anlage überblicken. Er nutzt deswegen Simulation zur Verbesserung der Kommunikation in der Firma und mit dem Kunden.

Die Einführung der Simulation in das Unternehmen bedarf finanzieller und organisatorischer Aufwände. Mit der Auswahl eines geeigneten Simulationsprogramms sollen die Kosten für Programmlizenz und Erstellung der Simulationsstudien möglichst niedrig gehalten werden. Anschaffungskosten von ca. 20.000 € bis 30.000 € für eine Lizenz stellen hierbei auch keine außergewöhnlich hohe Investitionssumme dar. Im organisatorischen Bereich stellt die Einführung der Simulation in die Unternehmensprozesse den größeren Teil der Aufwendungen dar. Neben dem Verständnis des Simulationsprogramms ist ein umfangreiches Wissen im Gesamtumgang mit der Methodik der Simulation notwendig. Erfolgversprechende Simulationsergebnisse, in vertretbaren Zeiträumen, sind nur dann zu erwarten, wenn von erfahrener Seite aus erste Studien durchgeführt werden. Die in das Tagesgeschäft voll eingebundenen Konstrukteure und Projektleiter können mit dieser Aufgabe schnell überfordert werden. Dies kann zu einer negativen Grundhaltung zur Simulation im Unternehmen, infolge inkorrekter Simulationsstudien und den daraus unbefriedigenden Ergebnissen, führen.

Diese beschriebenen Zuständigkeiten sowie die in den vorherigen Absätzen beschriebenen Methoden sind in den Anlagen 1 bis 3 in Form von Ablaufdiagrammen dargestellt.

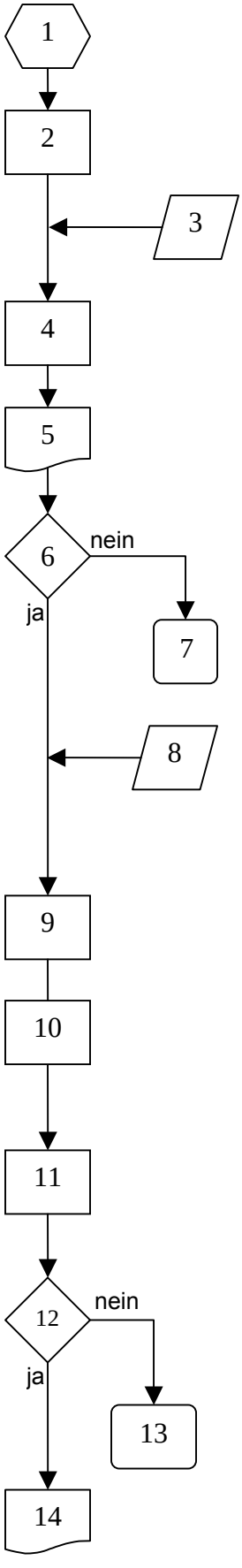
5 Methodik zur Auswahl der Simulationssoftware

In diesem Kapitel wird die Methodik zur Auswahl des geeigneten Simulationsprogramms vorgestellt. Es beschreibt die einzelnen Schritte von der Festlegung der Anforderungen bis hin zur Entscheidung für ein konkretes Simulationsprogramm. In den einzelnen Unterkapiteln wird zunächst ein Gesamtüberblick über die Vorgehensweise gegeben, anschließend werden Grobauswahl und Feinauswahl näher beschrieben und die angewandten Methoden begründet. Dieses Kapitel bildet den Schwerpunkt dieser Diplomarbeit.

5.1 Überblick zur Auswahl einer Simulationssoftware

Für die Erreichung der Zielstellung ist es unerlässlich, einen strukturierten Ablaufplan für das praktische Vorgehen aufzustellen. Die entwickelte Methodik schränkt dabei stufenweise die Anzahl der potenziellen Simulationsprogramme ein. Am Ende des Auswahlverfahrens steht die Empfehlung für die Anschaffung eines Simulationsprogramms. Dabei sind die wissenschaftliche Herangehensweise und ein objektives Bewerten der Programme Vorrausetzung für ein optimales Ergebnis. Zu diesem Zweck, wurden wissenschaftliche Veröffentlichungen und VDI-Richtlinien ergänzend zu den eigenen Gedanken genutzt. Im nächsten Abschnitt wird diese Vorgehensweise kurz erläutert.

Aus dem definierten Sollzustand (Kapitel 4) wird ein Anforderungskatalog für die zukünftige Software abgeleitet. Die hier beschriebenen Eigenschaften werden dann in einer Nutzwertanalyse als gewichtete Kriterien genutzt, um die verschiedenen Simulationsprogramme miteinander vergleichen zu können. Nach der Nutzwertanalyse als Grobauswahl werden die selektierten Programme in einer Feinauswahl diffiziler untersucht. Hierfür wird eine Montageanlage der SITEC GmbH gewählt, die alle charakteristischen Eigenschaften des Montageanlagenspektrums des Unternehmens enthält. Diese Anlage wird mit den ca. 3 selektierten Programmen modelliert und simuliert. Anhand der Umsetzung von Modellbildung und Simulation wird die Entscheidung für oder gegen ein Programm getroffen. Das vollständige und detaillierte Ablaufdiagramm (Abbildung 16) für die Auswahl eines Simulationsprogramms befindet sich auf Seite 40.



Ablaufdiagramm	Beschreibung der Einzelschritte	Phase
1	1) Ausgangspunkt: Sollzustand	Vorbereitung
2	2) Erstellung des Anforderungskatalogs für die Simulationssoftware	
3	3) Programminformation, Gewichtungsinformationen der Kriterien, Preisinformationen	
4	4) Durchführen der Nutzwertanalyse	Grobauswahl
5	5) Nutzwertanalyse	
6	6) Programm für engere Auswahl geeignet?	
7	7) Ausscheiden der Software im Auswahlprozess	
8	8) Daten Referenzanlage - Prozesse - Zeitbedarfe - Streuungen - Verteilungen - Störungen - Layouts	Feinauswahl
9	9) Modellierung des Referenzmodells	
10	10) Simulation der Anlage mit den verschiedenen Programmen	
11	11) Bewertung der Modellbildung und Simulation	
12	12) Programm am besten geeignet für SITEC GmbH?	
13	13) Ausscheiden der Software im Auswahlprozess	
14	14) Empfehlung zum Kauf des Simulationsprogramms	Ergebnis

Abbildung 16: Vorgehen zur Auswahl der Simulationssoftware

5.2 Vorbereitung

5.2.1 Beschreibung des Anforderungskatalogs:

In Vorbereitung auf den Vergleich verschiedener Programme werden zunächst die Anforderungen an das Programm definiert. Sie leiten sich größtenteils aus dem definierten Sollzustand ab (vgl. Tabelle 1). Hier sind die Einsatzgebiete, die Zielstellung von Simulation und die hierfür zuständigen Personen beschrieben. Diese Anforderungen, wie z.B. montagegerechte Modellbildung oder eigene Bausteinkonstruktion, sind einsatzspezifisch, d.h. speziell auf den Anwendungszweck der SITEC GmbH zugeschnitten. Neben diesen anwendungsspezifischen Anforderungen werden auch allgemeingültige Kriterien an das Programm gestellt, beispielsweise hoher Bedienkomfort und kostengünstige Lizenzen.

Um die Anforderungen passgenau auf die Problematik „Simulation von Montageanlagen“ abzustimmen, wurde dieser Katalog in enger Zusammenarbeit mit dem Leiter der Montageanlagenplanung erstellt. Somit flossen das Wissen des Simulationsanwenders und das des Anlagenexperten zusammen. Diese Anforderungen werden später klassifiziert und sind im Anforderungskatalog zusammengefasst (Tabelle 2, Seite 42).

Dieser Anforderungskatalog stellt die Basis für die Bewertung der verschiedenen Programme dar. Ziel ist es, möglichst viele signifikante Merkmale zu definieren, die in Ihrer Gesamtheit die Eignung von Programmen für die Simulation von Montageanlagen gut bewerten können. Die Verdichtung der Anforderung und die Gewichtung verschiedener Merkmale erfolgt im nächsten Schritt, der Nutzwertanalyse.

Tabelle 2: Anforderungskatalog an die Simulationssoftware

Kriterium	Beschreibung
Kommunikation	- Import von Primärdaten in der vorliegenden Form (Zeiten, Verteilungen) - Vorhandensein von Schnittstellen zu SolidWorks - Kommunikation mit den Programmen des MS-Office
Montagerechte Modellbildung	- Modellkonstruktion per Drag-and-drop - Großes Sortiment an Modellbausteinen für Montageprozesse - Implementierung von Stör-, Reparatur- und Rüstzeiten - Erstellen eigener Bibliotheken mit speziellen Modellbausteinen
Bedienung	- Dialogsprache und Benutzerführung in deutscher Sprache - Graphisch-interaktive Benutzerführung - Gute Softwareergonomie (schneller Zugriff auf relevante Funktionen) - Inhaltssensitive Hilfefunktion
Hardware- und Softwareanforderung	- Gängiger leistungsfähiger PC, keine überdimensionierte Hardwareanforderung - Windows Betriebssystem
Berechnung	- Hohe Systemstabilität - Stufenlos einstellbarer Simulationszeitfaktor - Simulation auch ohne Animation
Erweiterbarkeit	- Module für 3D-Simulation - Experimentiermodul
Simulationsauswertung	- Module zur benutzerspezifischen Simulationsauswertung ohne Programmierkenntnisse - Statistische Auswertung - Gängige Arten der Ergebnisdarstellung müssen integriert sein (z.B. Linien-, Balken-, Kreis-, Sankeydiagramme)
Experimentierfähigkeit	- Schnelles und einfaches Abändern der Primärdaten und des Simulationsmodells - Automatische Simulationsexperimente mit dem Experimentiermanager
Support	- Umfangreiche, detaillierte, deutschsprachige Hilfedokumentation - Möglichkeiten zur Schulung/ Einweisung im Haus - Geringe Entfernung zum Servicepartner (<200km) - Kostengünstige Produktupdates - Möglichkeit des Supports per Telefon, E-Mail, persönlich - Kostenlose Demoversion verfügbar - Anpassung durch Servicepartner möglich (z.B. Eingabemasken, Auswertealgorithmen)
Marktpräsens	- Hohe Kundenakzeptanz der Softwarelösung - Möglichst große Verbreitung im Anwenderkreis
Kosten	- Möglichst geringe Kosten für Lizenz, Softwarepflege, Updates und Schulungen

5.2.2 Motivation für die Auswahl einiger Anforderungen

Wie bereits in Abschnitt 5.2.1 erläutert, ergeben sich einige Anforderungen aus dem definierten Sollzustand. Dazu zählen beispielsweise die Forderung nach montagegerechter Modellbildung, der Erweiterbarkeit um einen Experimentiermodul sowie verschiedenen Unterpunkten der Simulationsauswertung. Im Nachfolgenden wird die Auswahl der wichtigsten Kriterien begründet.

- ***Kommunikation:***

Es muss die Möglichkeit gegeben sein, vorhandene Primärdaten in das Simulationsprogramm automatisiert implementieren zu können. Die Werte für Prozesszeiten beispielsweise liegen in MS-Excel-Tabellen vor, eine Kommunikation mit diesem Format ist daher wichtig. Die Konstruktionsabteilung arbeitet ausschließlich mit dem Programm SolidWorks, weshalb die Schnittstelle zum Importieren von Volumenmodellen aus diesem Programm ein weiteres Kriterium zur Bewertung darstellt.

- ***Montagegerechte Modellbildung:***

Das Grundgerüst für eine Montageanlage der SITEC GmbH bildet das VARIOMODUL®. Dies bedeutet, dass die meisten Montageanlagen modular aufgebaut sind und dass das Grundgestell je nach Verwendungszweck mit unterschiedlichen Technologien und Handlingskomponenten ausgestattet werden kann (Abbildung 17).

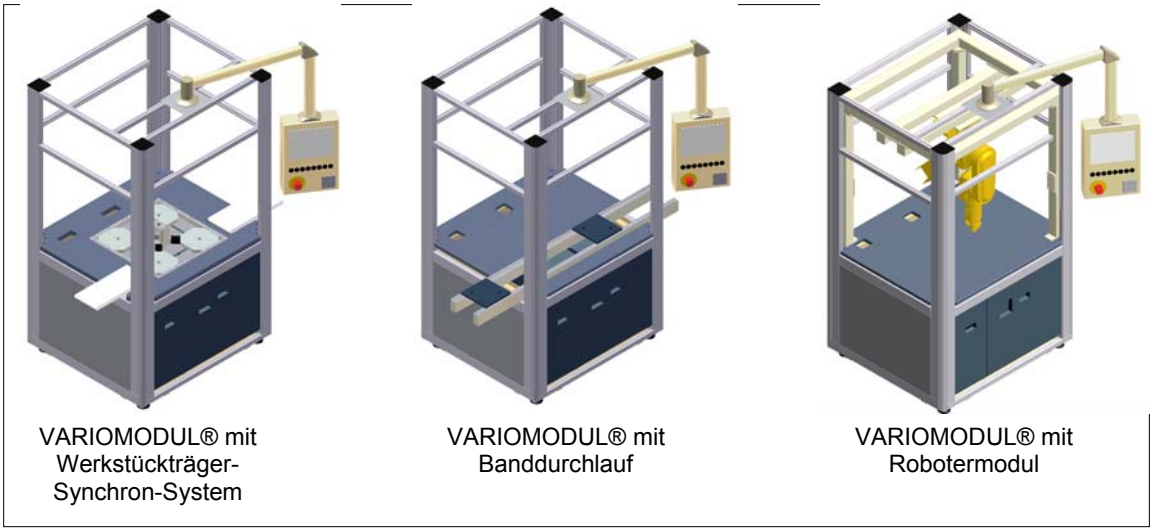


Abbildung 17: Systembaukasten VARIOMODUL® in verschiedenen Varianten /Fels-04/ S. 24 – 26/

Der modulare Aufbau dieser Montageanlagen muss im Simulationsprogramm berücksichtigt werden können, d.h. die verschiedenen Module müssen sich als Bausteinelemente in einer Systembibliothek abspeichern lassen. Diese Bausteine sollen von der SITEC GmbH selbst erstellt und bei Bedarf modifiziert werden können. Auch die hierarchische Struktur der Montageanlagen muss sich, für ein effektives Modellieren, im Simulationsprogramm abbilden lassen können.

- ***Bedienung:***

Hinsichtlich der Bedienung bestehen einige Anforderungen an das Simulationsprogramm. Eine intuitive Bedienung mit entsprechender Benutzeroberfläche trägt zur schnellen Einarbeitung und Akzeptanz beim Bediener bei. Die inhaltssensitive Hilfe soll schnell und gezielt ein

Hilfedokument zur aktuellen Handlung anbieten. Ein Mindestmaß an Softwareergonomie trägt zur effizienten Bedienung des Programms bei.

- ***Experimentierfähigkeit:***

Simulation soll eingesetzt werden, um den Variantenvergleich von Anlagenkonzepten in der Entwurfsphase sowie die Auswirkung von Lösungskonzepten bei Problemen der Anlagenprüfung (Leistungstest) einschätzen zu können. Hierfür ist ein Experimentiermodul von Vorteil. Die relevanten Parameter können im Voraus in einem Versuchsplan definiert werden. Das Simulationsprogramm führt nacheinander die Versuchsreihen durch und zeichnet die Ergebnisse auf. Somit können zeitintensive Experimente in die Nachtstunden verlegt werden, woraus sich zwei Vorteile ergeben: Einerseits ist der Rechner während der Arbeitszeit nicht blockiert und kann für andere Aufgaben genutzt werden, andererseits verkürzt sich die Experimentierzeit für den Anwender, er muss nur einmalig die Werte der Parameter bestimmen und erhält danach alle Ergebnisse ohne weitere Tätigkeiten durchzuführen.

5.2.3 Liste der zu vergleichenden Simulationstools

Ein wichtiger und zeitaufwendiger Schritt zur Umsetzung dieser Diplomarbeit stellt die Recherche nach vorhanden Simulationsprogrammen und deren Eigenschaften dar. Nachdem im vorherigen Schritt ein Anforderungskatalog erstellt wurde, müssen nun die Informationen beschafft werden, um die Programme hinsichtlich der gestellten Anforderungen möglichst treffend bewerten zu können. Hierfür sind verschiedene Methoden zum Einsatz gekommen.

In einem ersten Schritt erfolgte eine umfangreiche Recherche nach am Markt existierenden Simulationsprogrammen, die für die Materialflusssimulation in Produktion und Logistik relevant sind. Einen breiten Überblick hierfür bot die aktuelle Marktübersicht der Firma Soft-Guide GmbH & Co. KG. Auf deren Internetseite (vgl. /SOFT/) werden sämtliche Programme, übersichtlich nach Kategorie geordnet, dargestellt und beschrieben. Sie bot eine solide Grundlage für weitere Recherchen. Die Firma Simplan GmbH stellt auf ihrer Internetseite (vgl. /SIMT/) ebenfalls verschiedene Simulationstools vor. Ergänzende Recherchen in verschiedenen Fachbüchern (vgl. /Kuhn-98; Kuhn-97/) vervollständigte die Liste der relevanten Programme (vgl. Tabelle 3, Seite 45).

Das Risiko, entscheidende Produkte bei dieser Recherche zu übersehen, wurde durch einen Abgleich dieser Tabelle mit verschiedenen Erfahrungsträgern auf dem Gebiet der Simulation, wie z.B. das IBF[6] an der TU Chemnitz oder der Firma Simplan GmbH, zu minimieren versucht. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass kleinere oder völlig neue Anbieter

[6] Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Institut an der TU Chemnitz

unter Umständen unberücksichtigt blieben. Eine Ausweitung der Programme stellt aber nicht zwangsläufig eine Steigerung der Qualität des Vergleiches dar, da voraussichtlich die Informationsbeschaffung und -bewertung im vorgegebenen Zeitraum nicht mehr zu bewältigen gewesen wäre und die Verfügbarkeit, Bedeutung sowie Akzeptanz von Programmen, die selbst nach intensiver Recherche in Fachbüchern, im Internet und bei Erfahrungsträgern nicht gefunden werden konnten, in Frage zu stellen sind. Tabelle 3 gibt somit einen repräsentativen Überblick über vorhandene Simulationstools auf dem Gebiet der Materialflusssimulation in Produktion und Logistik.

Tabelle 3: recherchierte Simulationsprogramme

Pos.	Programmname	Version/Datum	Hersteller
1	AutoMod	11.1	Brooks Automation, Inc.
2	Simul8	2005	Simul8 Corporation
3	Tecnomatix Plant Simulation	7.6.1 (2006)	UGS Corporation
4	Witness	2006	Lanner Group GmbH
5	ProPlanner Line Balance	1.7.0.0 (2006)	ProPlanner
6	Quest	D5K 16 SP6	Delmia Corp.
7	Enterprise Dynamics	7.1 (2006)	Incontrol Simulation Software B.V.
8	3D-Create	3.1.3 (2005)	Visual Components Oy, Inc.
9	Arena	10.0 (2005)	Rockwell Software Inc.
10	SpeedSim	1.6.8.0 (2005)	Dualis GmbH
11	ProModel	7.0.0.191 (2006)	ProModel Corporation

5.2.4 Methodik der Informationsbeschaffung und Beurteilung

Für die in Tabelle 3 festgelegten Programme müssen in einem nächsten Schritt die zur Bewertung notwendigen Informationen beschafft werden. Quellen der Recherche bilden dabei die Internetpräsenzen der Hersteller und Vertriebsfirmen sowie Prospekte, weiterführende Produktbeschreibungen und Demoversionen der Simulationsprogramme. Diese Informationen vermitteln einen umfassenden Eindruck der jeweiligen Programme. Die Meinungsbildung sollte jedoch nicht ausschließlich auf den Informationen der jeweiligen Hersteller beruhen, da diese immer durch das Vertriebsziel geprägt sind. Die Vorzüge der Simulationstools werden dabei herausgehoben und Nachteile oder Nichtfunktionalitäten bewusst verschwiegen und erst auf Nachfrage bekannt gegeben. Dies ist ein ganz normales marketingtechnisches Vorgehen und soll hier nicht negativ bewertet werden, es hemmt jedoch den Gewinn von wertungslosen Eindrücken. Aus diesem Grund wurde der Kontakt zu neutralen Simulationsexperten aufgebaut, die auch in der Anwendung der Produkte einige Erfahrung besitzen und diese gern weitergeben. Hierfür sind Forschungseinrichtungen wie die Hochschule Mittweida (FH) (Quest), die TU Chemnitz (Plant Simulation, Enterprise Dynamics) und die TU-Bergakademie Freiberg (Plant Simulation, 3D-Create) ebenso hervorzuheben wie einige

Unternehmen, z.B. Siemens VDO (ProModel), Hörmann-Rawema (Plant Simulation), Flughafen Zürich AG (Arena) sowie Xenon GmbH (3D-Realize). In persönlichen Gesprächen wurden Motivation und Zielstellung der Einführung von Simulation in die SITEC GmbH beschrieben und anschließend die Vor- und Nachteile aus Anwendersicht dargestellt. Größtenteils decken sich diese Informationen mit denen der Hersteller, wenn auch einige Funktionen relativiert wurden. Ein besonders hoher Erkenntnisgewinn resultiert aus der Arbeit mit Demo- bzw. Studentenversionen der jeweiligen Programme. Bei dieser relativ aufwendigen Methode werden Tutorials durchgearbeitet und mitgelieferte Beispielmodelle nachvollzogen. Dies hilft vor allem beim Einschätzen der nicht monetär bewertbaren Kriterien, wie z.B. Benutzeroberfläche & Bedienung, aber auch technische Details, wie z.B. Umfang der mitgelieferten Modellbibliothek, können hervorragend überprüft werden. All diese Methoden tragen dazu bei, ein umfassendes Bild der verschiedenen Programme zu erhalten. In Anlage 4, „Kurzbeschreibung der untersuchten Simulationsprogramme“, werden alle in Tabelle 3 genannten Programme kurz beschrieben. Diese Anlage bündelt die Informationsrecherche in einem überschaubaren und strukturierten Rahmen.

5.2.5 Klassifizierung der Anforderung, Gewichtung der Kriterien

Die in Tabelle 2 aufgeführten Anforderungen sind relativ frei zusammengestellt und wenig klassifiziert, mit dem Zweck, ungezwungen und intuitiv Anforderungen zu definieren. Ergebnis dieser Vorgehensweise sind die elf Anforderungen in dieser Tabelle. In Vorbereitung auf die Durchführung der Nutzwertanalyse müssen diese Daten verdichtet, weiter klassifiziert und gewichtet werden. Die Nutzwertanalyse konzentriert sich dabei auf wenige aussagefähige Kriterien (max. 6), die möglichst objektiv bewertbar sind und sich so wenig wie möglich im Sinngehalt überschneiden /RINZ-92 S.44/. Aus diesem Grund, ist der Anforderungskatalog auf sechs wesentliche Kriterien beschränkt. Sie sind zusammen mit ihren Unterkriterien in Abbildung 18 dargestellt.

Neben Anzahl und Definition, übt auch die Gewichtung der Kriterien einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der NWA (Nutzwertanalyse) aus. Infolgedessen werden jeweils die sechs Hauptkriterien und ihre Unterkriterien paarweise miteinander verglichen und bewertet. Insgesamt existieren drei Bewertungsvarianten:

a. Kriterium 1 ist wichtiger als Kriterium 2.
b. Kriterium 1 ist weniger wichtig als Kriterium 2.
c. Beide Kriterien sind gleichwichtig.

Die Gewichtung besitzt einen sehr subjektiven Charakter. Je nach Bearbeiter können die Kriterien als verschieden bedeutsam eingeschätzt werden. Um die Meinung aller Personen, deren Aufgabenbereich später von Simulation tangiert wird, zu berücksichtigen, werden die Kriterien von folgenden Personen gewichtet: dem Leiter Konstruktion (LK), der Geschäftsführung (GF), dem Leiter der Planungsabteilung (LP), dem betrieblichen Betreuer dieser Diplomarbeit und dem Diplomanden selbst. Das Ergebnis ist somit eine Mischung der Prioritäten aus den Aufgabenbereichen Kundenkommunikation (GF, LP), Konstruktion (LK) und Ablaufsimulation (Betreuer, Diplomand).

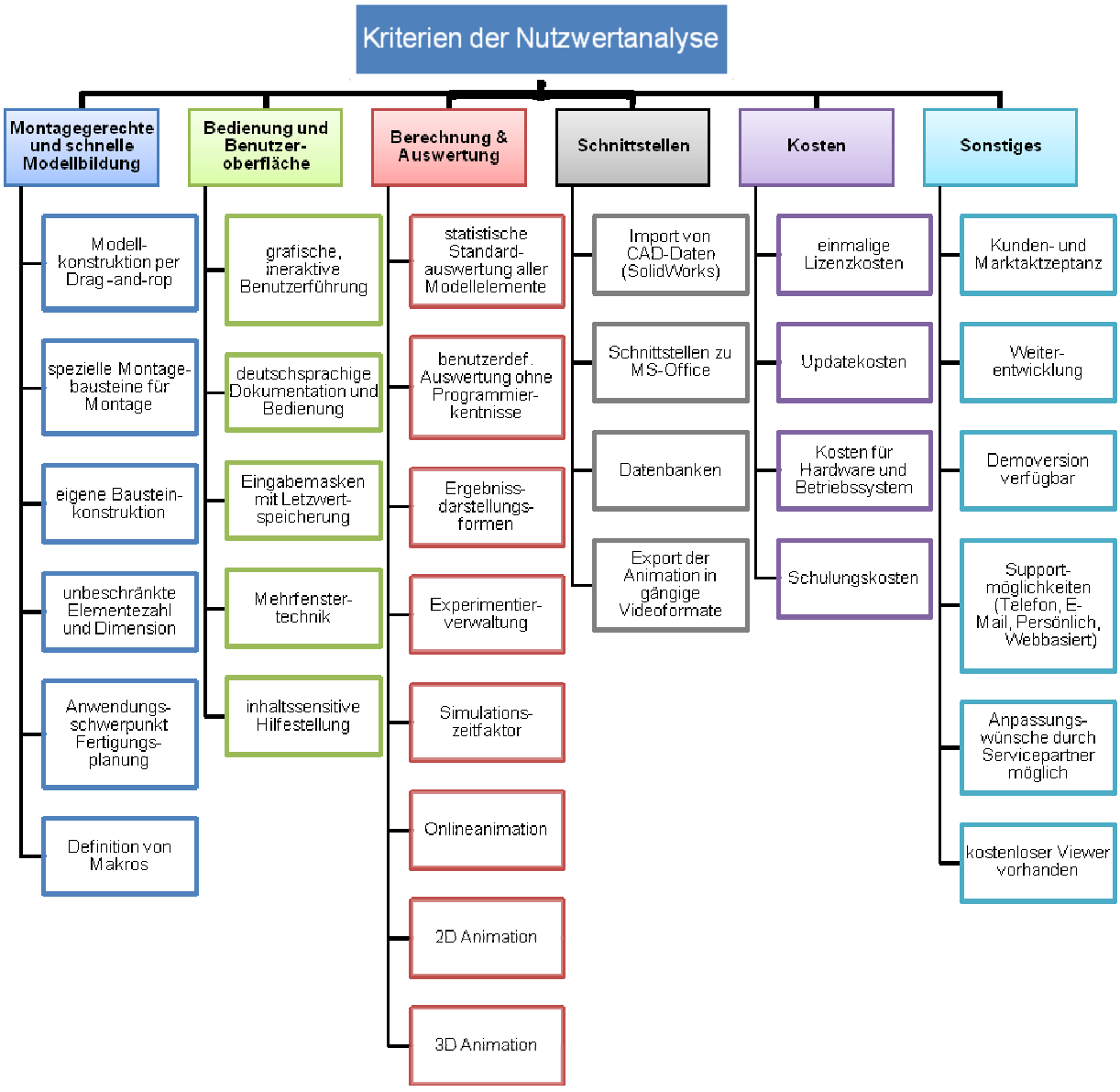


Abbildung 18: Kriterienhierarchie der NWA

Ein Teil des Ergebnisses des paarweisen Vergleiches ist in Abbildung 19 dargestellt und als plausibel einzustufen: Die Kosten sowie die montagegerechte Modellbildung sind sicherlich

auch in Hinblick auf die Zielstellung die wichtigsten Kriterien zur Bewertung der zukünftigen Software. Auch die Rangfolge der weiteren Kriterien steht in keinem Widerspruch zum Einsatzgebiet des Programms. In Überprüfung ergibt die Summe der einzelnen Prozentsätze jeweils 100%. Alle Tabellen und Diagramme mit den Ergebnissen der Gewichtung sind in Anlage 5 enthalten.

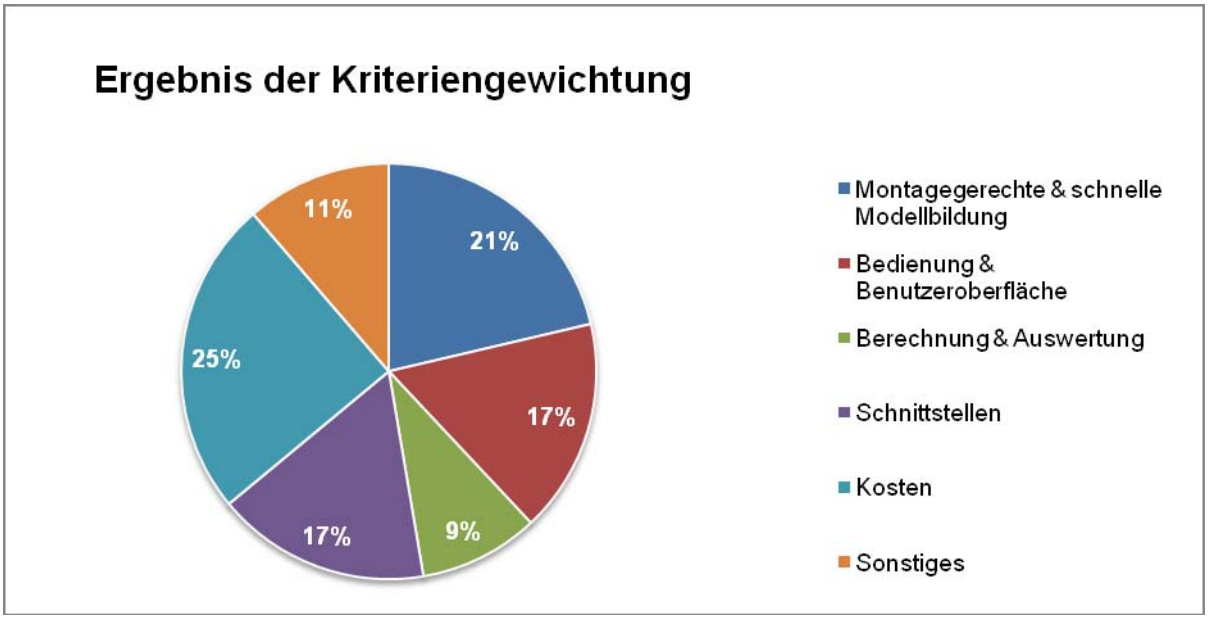


Abbildung 19: Gewichtung der Kriterien für die Nutzwertanalyse

5.3 Grobauswahl

Nachdem alle zu vergleichenden Programme, die Kriterien sowie deren Gewichtung festgelegt worden sind, können diese Programme auf ihren Nutzwert für das Unternehmen untersucht werden. Ziel ist es, durch diese NWA eine erste Grobauswahl zu treffen, deren Ergebnis die Auswahl max. dreier Programme ist, die im Rahmen einer Feinauswahl intensiver untersucht werden (vgl. mit Abbildung 16, Seite 40).

Grundlage der Bewertung bilden die gesammelten Informationen über die Programme und der Umgang mit den Demoversionen. Die Bewertung erfolgt in den vier Stufen 0, 1, 2 und 3 (Tabelle 4).

Tabelle 4: Bewertungsstufen der NWA

Bewertungsstufe	Beschreibung
0	Kriterium nicht erfüllt / Eigenschaft nicht verfügbar
1	Kriterium ausreichend erfüllt
2	Kriterium gut erfüllt
3	Kriterium vollständig erfüllt

Es wurden bewusst vier Bewertungsstufen gewählt. Eine ungerade Anzahl, verleitet bei Unsicherheiten oft dazu, die genaue Mitte zu wählen. Beispielsweise wird bei fünf Stufen (0-4) häufig die 2 als neutrale Wertungsstufe gewählt. Hier jedoch besteht der Zwang, im Zweifelsfall sorgfältiger abzuwägen und die einzelnen Kriterien genauer zu prüfen, da keine neutrale Bewertungsstufe zur Verfügung steht. Tabelle 5 zeigt einen Ausschnitt aus der fertig ausgefüllten NWA. Die gesamte Nutzwertanalyse ist in Anlage 6 hinterlegt.

Tabelle 5: Ausschnitt aus der Tabelle Nutzwertanalyse

Nr.	Funktionalität	Gewichtung	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena
1	Montagegerechte & schnelle Modellbildung												
1.1.	Modellkonstruktion per Drag-and-drop	23	1	2	2	2	0	1	1	2	2	3	2
1.2.	spezielle Modellbausteine für Montageprozesse	12	0	0	2	1	0	3	0	0	0	2	0
1.3.	eigene Bausteinkonstruktion	14	1	2	3	2	0	0	1	1	2	3	1
1.4.	unbeschränkte Elementezahl und Dimension	22	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Die Bewertung aller Kriterien führte zu folgendem Ergebnis: Die Nutzwerte der Programme schwanken stark zwischen 7253 und 22006 Punkten. Das beste Programm (3D-Create) erreicht mit 75% der maximal möglichen Punkte (29290 Pkt.) einen hohen Nutzwert für die SITEC GmbH. Die vier darauf folgenden Programme unterscheiden sich in der Punktzahl nicht wesentlich voneinander (Platz 2: 19010 Pkt., Platz 5: 18176 Pkt.). Die Nutzwertanalyse ergab, dass sich fast alle Programme in irgendeiner Form für die Modellierung und Simulation von Montageanlagen eignen. Es wurden jedoch schnell wesentliche Unterschiede im Softwareumfang und -preis festgestellt. Die Preise schwanken hierbei zwischen ca. 4000 € und 43 000 €. Auch die Philosophie der Modellierung der einzelnen Programme ist teilweise grundlegend verschieden. Einige Programme unterstützen das Anlegen einer Bausteinbibliothek (z.B. 3D-Create), aus der die unterschiedlichen Layouts zusammengestellt werden, andere Programme bieten dieses Feature nicht oder nur eingeschränkt (z.B. ProModel). Auch stellte sich heraus, dass es sich bei dem Programm ProPlanner nicht um ein Simulationsprogramm im eigentlichen Sinne, sondern um ein planungsunterstützendes Werkzeug für die Dimensionierung von Montageanlagen handelt. Die Ergebnisse von ProPlanner beruhen dabei auf

analytischen Methoden. Aus diesem Grund erhält es in der Nutzwertanalyse die wenigsten Punkte (Abbildung 20).

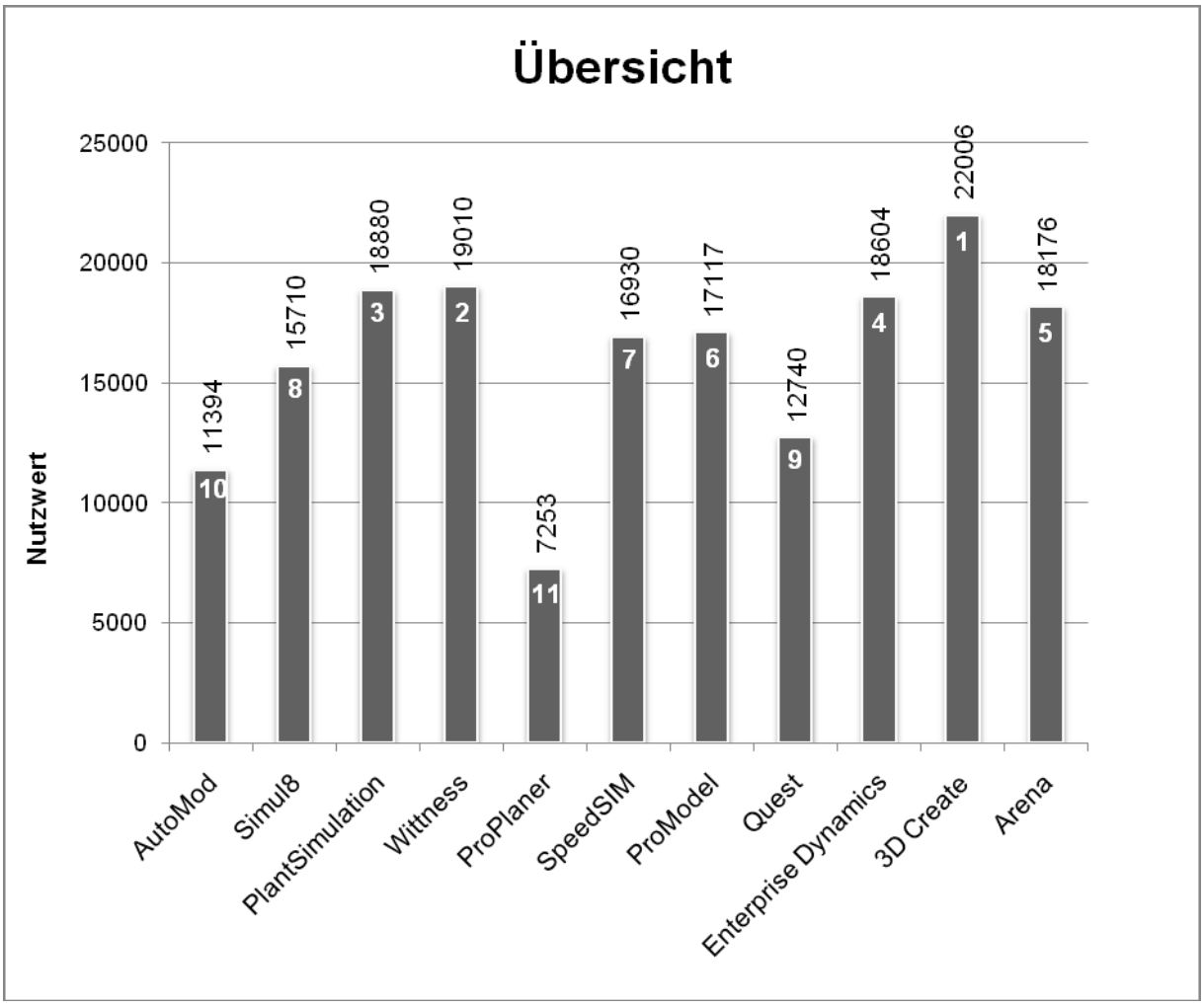


Abbildung 20: Gesamtbewertung der Simulationstools nach der NWA

Für die Entscheidung, welches dritte Programm neben Platz 1 (3D-Create) und Platz 2 (Witness) im Rahmen der Feinauswahl näher untersucht wird, müssen weiterführende Vergleiche angeführt werden. Ein dogmatisches Vorgehen, streng nach Punkten, ist hier wenig sinnvoll. In Frage kommen die Programme Plant Simulation, Enterprise Dynamics und Arena, da sie sich hinsichtlich ihrer Gesamtpunktzahl nicht signifikant unterscheiden.

Bei einer Gegenüberstellung des Kosten-/ Nutzenverhältnisses wird sehr schnell deutlich, dass Plant Simulation, bei nur geringfügigem Mehrwert, erheblich höhere Kosten in der Anschaffung verursacht (Abbildung 21). Die Lizenzkosten von Arena und Enterprise Dynamics sind nur minimal verschieden. Aufgrund der erheblich hohen Kosten fällt Plant Simulation nicht in die engere Auswahl.

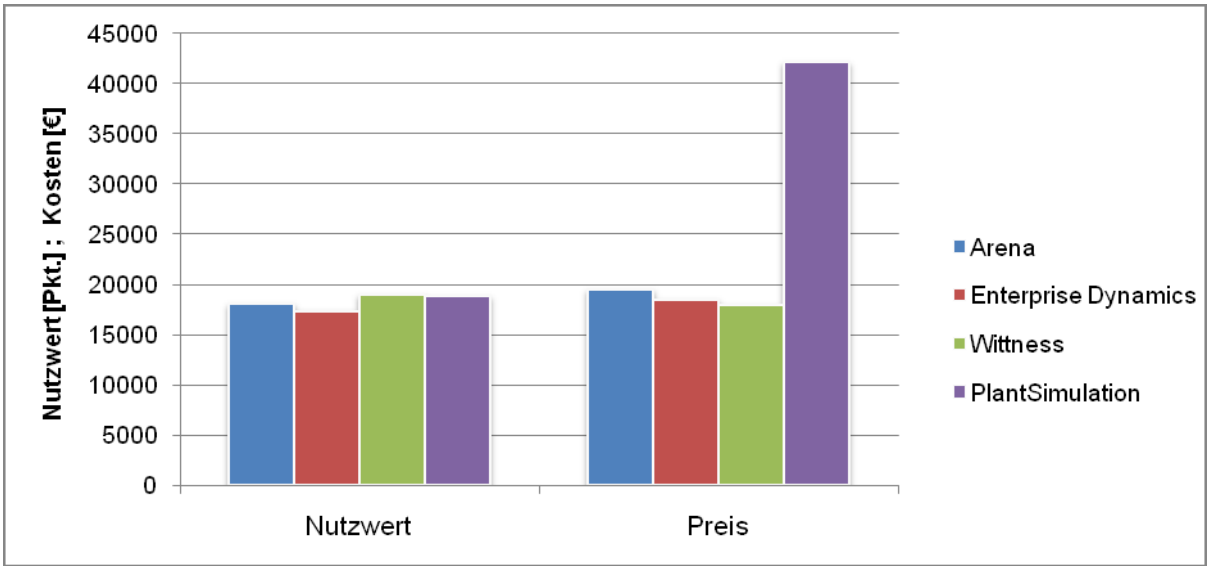


Abbildung 21: Gegenüberstellung Kosten-/ Nutzenverhältnis einzelner Programme

In einem zweiten Schritt werden die Erfüllungsgrade der einzelnen Kriterien von Arena und Enterprise Dynamics miteinander verglichen. Hierfür eignet sich die Darstellung im Netzdiagramm (Abbildung 22). Da sich beide Programme in keinem Kriterium wesentlich unterscheiden, kann keine objektive Entscheidung für oder gegen eines dieser Programme gefällt werden. Aus diesem Grund werden nun beide Programme im Rahmen der Feinauswahl gründlicher miteinander verglichen. Für die Feinauswahl werden somit folgende Programme herangezogen: 3D-Create, Witness, Enterprise Dynamics, Arena.

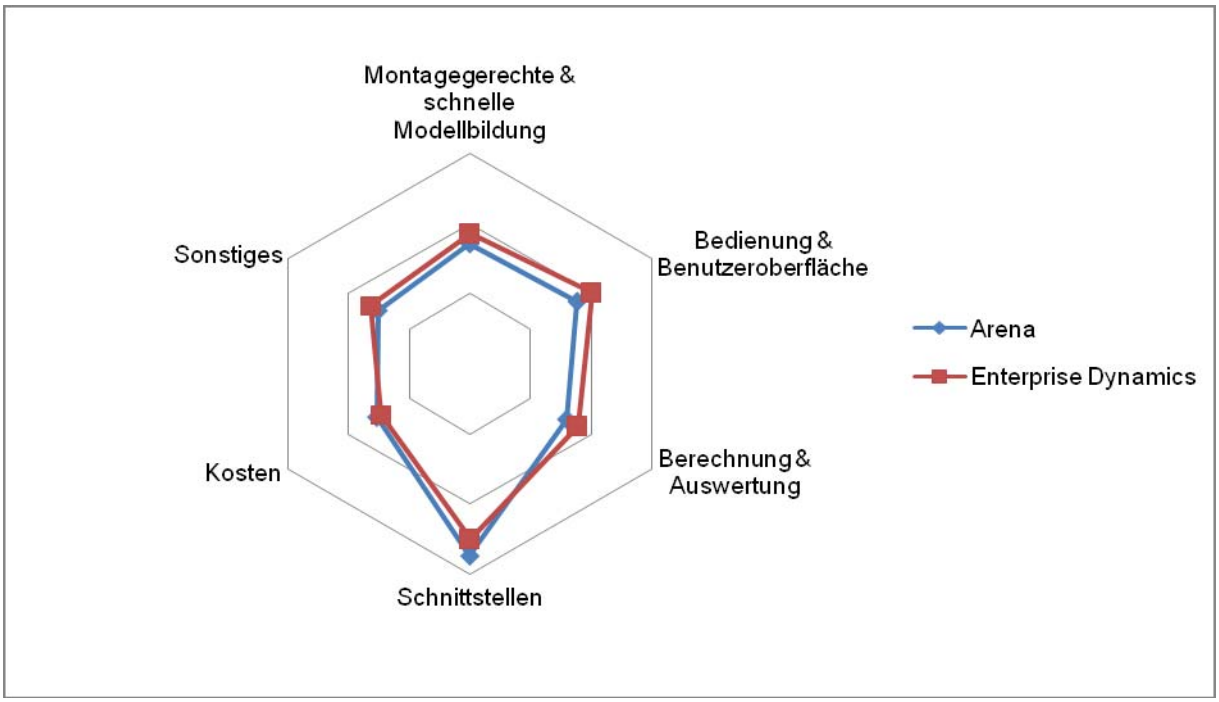


Abbildung 22: Vergleich Arena & Enterprise Dynamics

5.4 Feinauswahl

5.4.1 Auswahl der Referenzanlage

Die Feinauswahl beinhaltet den detaillierten Vergleich der vier aus der NWA hervorgegangenen Simulationsprogramme. Im Gegensatz zur Grobauswahl wird hier mit diesen Programmen eine Montageanlage modelliert und simuliert. Es sollen Aufwand, Strategie und Ergebnisse der Modellierung bewertet und verglichen werden. Um eine gleiche Ausgangsbasis des Vergleiches zu schaffen, wird mit den verschiedenen Programmen die gleiche Montageanlage modelliert. Diese soll alle relevanten Prozesse abbilden, die auch bei späteren Simulationsstudien auftreten können und darf zudem nicht zu umfangreich sein. Außerdem soll sie schon real existieren, um u.a. die Primärdatenbeschaffung (Layout, Prozessdaten, Abläufe, Restriktionen) zu erleichtern. Die Auswahl der Anlage erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Leiter der Planungsabteilung, da er den umfassendsten Überblick über vorhandene Projekte und die jeweiligen Ablaufprozesse besitzt. Nachfolgend wird die ausgewählte Montageanlage (Abbildung 23) beschrieben.

Abbildung 23: Foto der Referenzanlage /SITE1/

Die hier dargestellte Montageanlage ist aufgrund ihres unikalen Charakters, wie alle Montageanlagen, eine Sondermaschine. Die zu fügenden Einzelteile sind alles Teile der Feinwerktechnik. Es müssen präzise Handlings-, Prüf- und Fügeoperationen durchgeführt werden, beispielsweise Längenmessungen im Mikrometerbereich. Die Fügeprozesse werden u.a. durch die Integration des Laserschweißens realisiert. Da diese Montageanlage bei einem Kunden der SITEC GmbH im Einsatz ist, werden die technischen Details nur anonymisiert beschrieben. Das Layout der Referenzanlage ist in Abbildung 24 dargestellt.

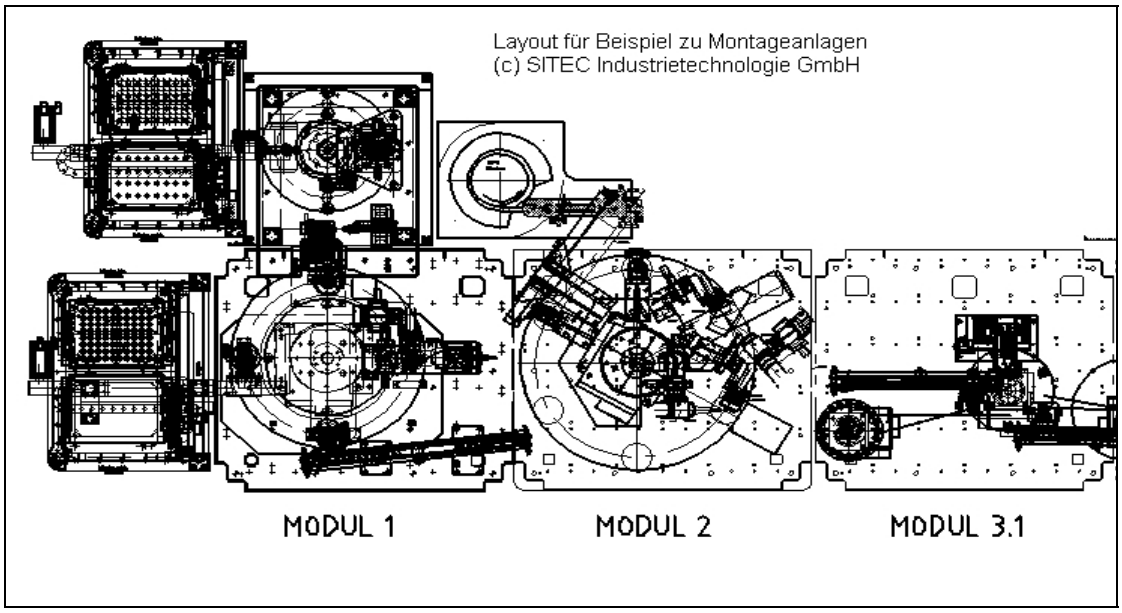


Abbildung 24: Layout der Referenzanlage

Die Montageanlage besteht im Einzelnen aus vier Einheiten des Variomoduls mit jeweils einem Rundtakttisch. Die Teilezuführung erfolgt automatisiert über zwei Palettierer und einen Rüttelförderer. Im Modul 3.1 ist zudem ein Teilepuffer angebracht. Das Teilehandling zwischen den Modulen wird mit Greifer auf Linearachsen und Schwenkachsen realisiert. Drei Einzelteile (Gehäuse, Einlegeteil, Dichtring) werden miteinander verbunden. Das Einlegeteil muss vor der Montage vorbehandelt werden. Danach wird das Einlegeteil in das Gehäuse eingelegt und auf einer Seite verschweißt (Modul 1), auf der anderen Seite der Baugruppe wird zwischen Gehäuse und Einlegeteil ein metallischer Dichtring eingelegt. Dieser Dichtring wird ebenfalls mit Gehäuse und Einlegeteil verschweißt (Modul 2). Anschließend wird die Lage des Dichtrings optisch überprüft (Modul 3.1). Der Montageprozess ist im Modul 3.1 noch nicht beendet, die reale Anlage besteht daher aus weiteren Modulen mit ähnlichen Prozessen. Im Rahmen der Feinauswahl werden nur die hier beschriebenen Module modelliert, um den Aufwand in Grenzen zu halten. Die im Modell zugrunde liegenden Prozess-, Rüst-, Stör- und Reparaturzeiten stammen aus der realen Anlage. Hierfür sind die Datensätze der automatischen Maschinendatenerfassung über einen Zeitraum von neun Tagen aufbereitet und ausgewertet worden. Zum besseren Verständnis sind in Anlage 7 das Layout der Referenzanlage, eine Modelldarstellung, die gesamten Prozesszeiten, eine verbale Beschreibung der Ablaufprozesse sowie die MTBF[7]- und MTTR[8]-Berechnungen hinterlegt.

[7] Mean Time Between Failures
[8] Mean Time To Recover

5.4.2 Modellierung der Referenzanlage mit der Software „3D-Create“

5.4.2.1 Vorgehensweise

Mithilfe einer voll funktionsfähigen 30-Tage-Demoversion des Programms wurde versucht das Referenzmodell in das Programm zu implementieren. Dieser Versuch scheiterte an der Programmierung der Logik für die Steuerung des Rundtaktisches und anderen komplexen Elementen (z.B. Puffer, Greifer). Es ist ohne Vorkenntnisse nicht möglich gewesen, sich mit Hilfe von Tutorials und Hilfedokumenten, die Programmiersprache in einem vertretbaren Zeitaufwand selbstständig zu erarbeiten.

Aus diesem Grund wurde eine zweitägige Schulung beim deutschen Vertriebspartner von Visual Components, der Dualis GmbH in Dresden, besucht. Diese Schulung ist speziell auf die Bedürfnisse der SITEC GmbH abgestimmt gewesen. Im Dialog mit dem Referenten wurde gemeinsam die Referenzanlage modelliert, wobei auch methodische Kenntnisse vermittelt wurden. Von Vorteil beim Besuch dieser Schulung war, dass schon fortgeschrittene Kenntnisse auf dem Gebiet der Simulation und grundlegende Kenntnisse im Umgang mit der Software 3D-Create vorhanden waren (resultierend aus dem Umgang mit der Demoversion des Programms). Einführende Lektionen konnten somit übersprungen werden. Das Ergebnis dieser zweitägigen Schulung ist eine Bibliothek mit den Bausteinen des Referenzmodells sowie das komplette und funktionsfähige Modell der Montageanlage. Im Anschluss an die Schulung wurden selbstständig vorhandene Modellbausteine modifiziert, neue Bausteine modelliert und das Layout der Anlage wurde variiert.

5.4.2.2 Beschreibung der Modellbildung

Die Software 3D-Create verfolgt folgende Strategie: Die Bausteine einer Modellbibliothek werden so detailliert wie möglich definiert und abgespeichert. Diese Bausteine enthalten die Geometrie, die interne Ablauflogik, Parameter und Schnittstellen zu anderen Bausteinen. Sie funktionieren weitestgehend autonom. Aus diesen Bausteinen wird später das komplette Simulationsmodell per Drag-and-drop modelliert. Das detaillierte Vorgehen wird im Folgenden erläutert.

Im ersten Schritt werden die Konstruktionsdateien aus SolidWorks in 3D-Create importiert und vereinfacht. Vereinfachung bedeutet, dass die Anzahl der Polygone extrem reduziert wird, um die Systemperformance zu gewährleisten. Hierfür existieren automatische Mechanismen, die z.B. alle Bohrungen kleiner 10 Millimeter entfernt oder die Anzahl der Polygone um 50 % reduziert. Dies bedeutet eine große Zeitersparnis im Vergleich zur manuellen Redu-

zierung der Polygone. Importierte Elemente können in ihre geometrischen Objekte zerlegt werden oder es können mehrere geometrische Objekte zu einem Element zusammengefasst werden. Diese Funktion ist hilfreich, um bestimmte Objektelemente zu animieren. 3D-Create verfügt zudem über ein eigenes Werkzeug zum Erzeugen von Geometrie. Es können einfache Grundelemente, wie z.B. Zylinder, Kegel, Quader, erzeugt werden. Mit Hilfe von Kopieren und Spiegeln entstehen schnell die gewünschten Körper, denen anschließend die Werkstoffsorten (z.B. Aluminium, Chrom, …) zugewiesen werden. Im nächsten Schritt können Ablauflogik, Schnittstellen und Parameter der Geometrie zugewiesen werden. Die Schnittstellen dienen dazu, später Elemente im Layout miteinander automatisiert zu verbinden. Hierfür existieren Materialfluss-, Informationsfluss- und Hierarchieschnittstellen. Durch die Vergabe von Vater-Sohn-Beziehungen werden hierarchische Strukturen (wie sie auch in den realen Anlagen auftreten) modelliert (Abbildung 25). Beispielsweise besitzt die hierarchische Schnittstelle eines Rundtakttisches den Sohn-Status und die des Variomoduls den Vater-Status. Beim Verschieben des Variomoduls im Layout bewegt sich nun der Rundtakttisch immer automatisch mit. Für variable Eigenschaften von Elementen (z.B. Geschwindigkeit eines Bandförderers) werden getrennt Parameter definiert. Diese können später, ohne Eingriff in die Programmierung, schnell und einfach geändert werden. Die Modellierung erfolgt zum größten Teil über die interne Programmiersprache „Phyton Script“ und einige Hilfselemente (die sogenannten „Behavior Atoms“), wie Sensoren, Signale, Pfade oder Container. Es stehen nur wenige Dialogfenster, Entscheidungstabellen o.ä. zur Verfügung. Dies bedeutet zwar einen etwas höheren Zeitaufwand, bietet aber andererseits nur geringe Einschränkungen in der Modellierung. Die komplett erstellten Modellbausteine werden zum Schluss in der Modellbibliothek unter passender Beschreibung abgespeichert.

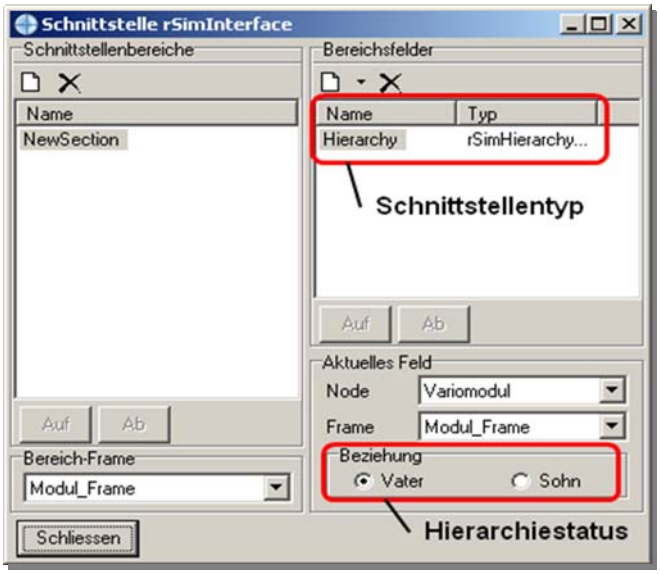
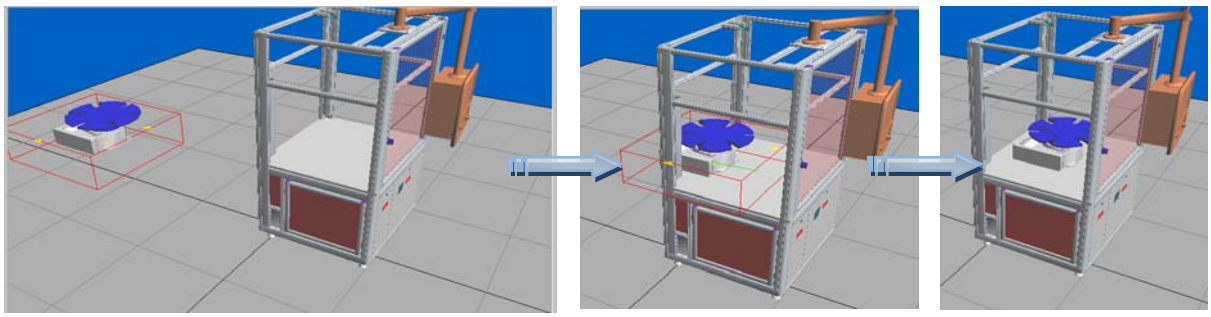


Abbildung 25: Definieren einer hierarchischen Schnittstelle

Im zweiten Schritt wird aus den vorher erstellten Bausteinen das Gesamtlayout der Montageanlage modelliert. Hierfür sind die Modellbausteine aus der Bausteinbibliothek per Drag-and-drop in das Layout einzufügen. Die vorher definierten Schnittstellen und Ablauflogik ermöglichen eine schnelle Verknüpfung der einzelnen Bausteine im Layout. Diese Verknüpfung erfolgt dadurch, dass zwei zu verbindende Elemente per Mausbewegung in räumliche Nähe gebracht werden. Die Schnittstellen werden dann automatisch erkannt (dargestellt in Form eines grünen Striches zwischen beiden Schnittstellen) und verbinden sich. Dieses Verfahren wird hier als „Plug & play“ bezeichnet (Abbildung 26).



Per Drag-and-drop die Modellbausteine aus der Modellbibliothek in das Layout ziehen (vgl. Schritt 2 in Abb. 28)

Per Maus die Komponenten in räumliche Nähe bringen. Die Schnittstellen werden automatisch erkannt (dargestellt mit dem grünen Strich).

Beim Loslassen der Maustaste werden die Elemente korrekt positioniert und verbunden.

Abbildung 26: Plug & play-Verfahren

Im dritten und letzten Schritt werden anlagenspezifische Elemente im Gesamtlayout ergänzt. Dies können z.B. Elemente sein, die in anderen Anlagen nicht wiederverwendet werden und bei denen sich deshalb die Erstellung eines autonomen Modellbausteines mit Schnittstellen nicht lohnt. Die Eigenschaften vorhandener Elemente werden über die jeweiligen Parameterseiten einfach und schnell definiert (Abbildung 27). Im Anschluss können Simulationsläufe gestartet und ausgewertet werden. In Abbildung 28 sind die drei Schritte noch einmal übersichtlich dargestellt.

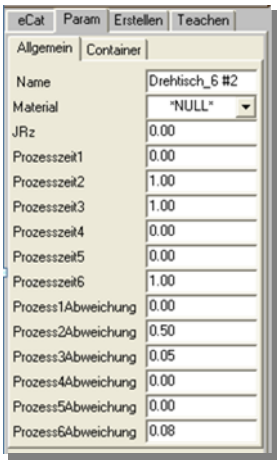
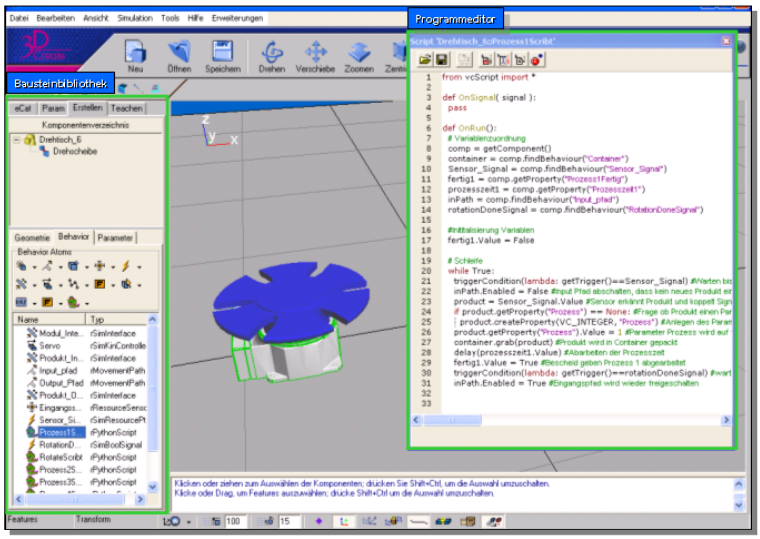


Abbildung 27: Parameterseite eines 6-Stationen-Rundtakttisches

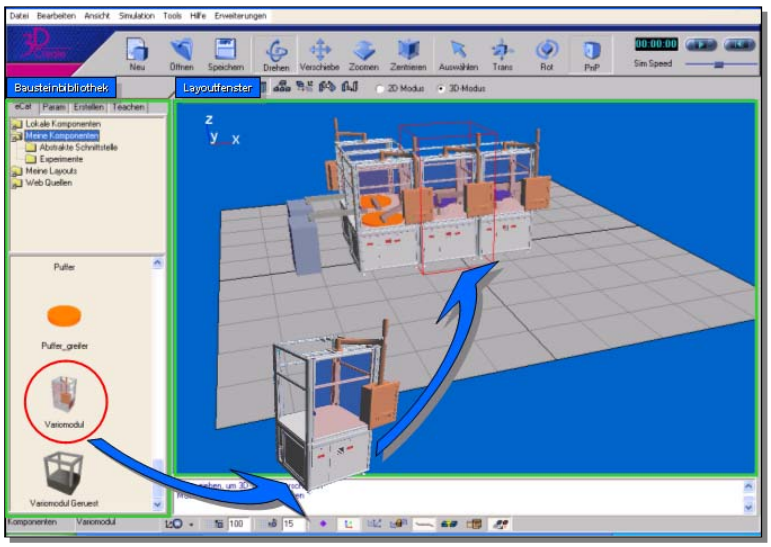
1. Definieren der Modellbausteine



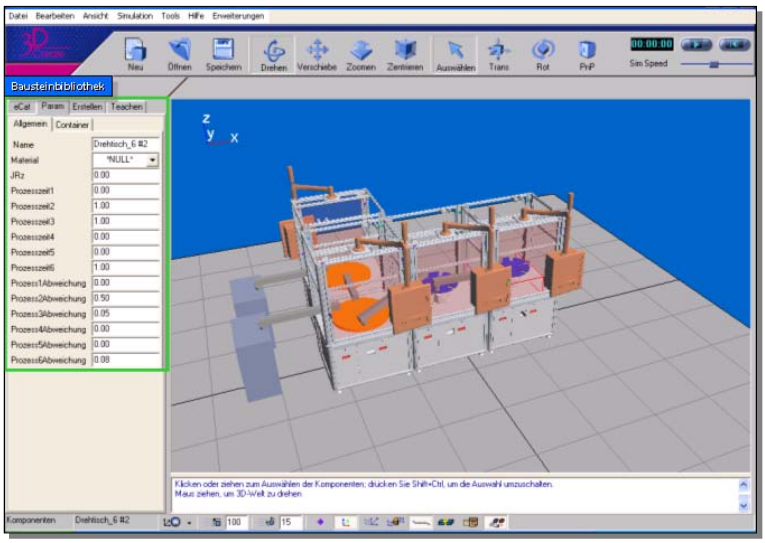
- Geometrie erzeugen oder importieren (z.B. aus Solid-Works)
- Programmierung der Ablauflogik & Schnittstellen
- Festlegen der Parameter
- Speichern des Elementes in der Bausteinbibliothek

2. Anlagenlayout erstellen

- Öffnen der Bausteinbibliothek
- Auswahl des Modellbausteins
- Einfügen per Drag-and-drop in das Layout
- Verknüpfung der Elemente erfolgt automatisch (außer bei abstrakten Schnittstellen)



3. Anlage parametrisieren & Simulation starten



- Auswahl des zu parametrisierenden Modellbausteins
- Einstellen der Parametergröße
- Starten der Simulation
- Anzeigen der Simulationsergebnisse

Abbildung 28: Modellierung mit 3D-Create

5.4.2.3 Beurteilung der Modellierung

Die Modellierung der Referenzanlage mit 3D-Create wird nach folgenden Gesichtspunkten bewertet:

- **Zeitaufwand:**

Der Zeitaufwand für die erstmalige Modellierung eines Bausteins beträgt für einen erfahrenen Programmierer, je nach Komplexität und Umfang, zwischen einem und drei Tagen. Für die Modellierung einer gesamten Anlage aus bestehenden Modellbausteinen ist ebenfalls in Abhängigkeit von der Komplexität eine Dauer von einem halben Tag bis zwei Tage vorzusehen. Dies bedeutet, dass nach dem Erstellen der Modellbibliothek die Modellierung verschiedener Layouts und Varianten äußerst schnell möglich ist. Gerade im kurzen Angebotszeitraum, in dem viele Freiheitsgrade des Anlagenkonzeptes vorhanden sind, ist diese Methode von Vorteil. Nachteilig an diesem Konzept ist, dass für das Anlegen der kompletten Bausteinbibliothek viel Zeit im Voraus beansprucht wird. Dieser Mehrbedarf an Zeit wird sich jedoch, bedingt durch den modularen Aufbau der Montageanlagen, nach wenigen Simulationsstudien amortisieren.

- **Wiederverwendbarkeit/ Flexibilität der Simulationsmodelle**

Die mit 3D-Create erstellten Simulationsmodelle werden als Layout-Datei abgespeichert. Diese Datei enthält alle aus der Bausteinbibliothek eingefügten Modellbausteine, die eingestellten Werte der Parameter und zusätzliche im Layout selbst erstellte Elemente. Es ist problemlos möglich, per Drag-and-drop vorhandene Bausteine durch andere zu ersetzen, zu löschen, oder neue Bausteine hinzuzufügen. Der Simulationsbenutzer kann im Layout die Bausteine schnell und einfach per Maus verschieben, verschiedene Kombinationen modellieren und die Auswirkungen geänderter Parameter ermitteln. Dadurch wird das Simulationsmodell sehr flexibel und lässt sich auf verwandte Problemstellungen schnell anpassen.
Die Programmstruktur von 3D-Create passt sich dem modularen Aufbau der Montageanlagen der SITEC GmbH an, d.h. genau wie die realen Montageanlagen setzen sich die Simulationsmodelle aus den immer wiederkehrenden gleichen Elementen zusammen. Die Anzahl der vorhandenen Elemente ist begrenzt und kann für spezielle Problemstellungen erweitert werden. Dadurch ist die Wiederverwendbarkeit der erstellten Modellbausteine gegeben.

- **Erzeugtes Simulationsmodell**

Innerhalb der zweitägigen Schulung bei der Dualis GmbH entstanden ein funktionierendes Simulationsmodell der Referenzanlage und die dazugehörige Modellbibliothek mit neun Modellbausteinen. Dazu zählen beispielsweise Drehtische, Puffer, Handlingeinheiten und Palettierer. Alle Elemente verfügen über entsprechende Parameter, die sich einfach ändern lassen. Die Streuung der Prozesszeiten ist ebenfalls modelliert. Aus Zeitgründen konnten noch keine Störungen oder Rüstprozesse modelliert werden. Diese können aber später, analog zu den Streuungen, als Parameter definiert werden. Die Modellbausteine können nicht nur für das Referenzmodell, sondern auch für zukünftige Projekte genutzt werden. Das entstandene Simulationsmodell ist aufgrund der animierten Darstellung der Abläufe sehr anschaulich.
Weiterhin wurden während der Schulung Fähigkeiten im Umgang mit dem Programm vermittelt, sodass der Teilnehmer in der Lage ist, vorhandene Modellbausteine selbstständig anzupassen. Im Anschluss an die Schulung, wurden ausgehend von einem Rundtakttisch mit vier Stationen selbstständig weitere Rundtaktische mit sechs bzw. acht Stationen modelliert.

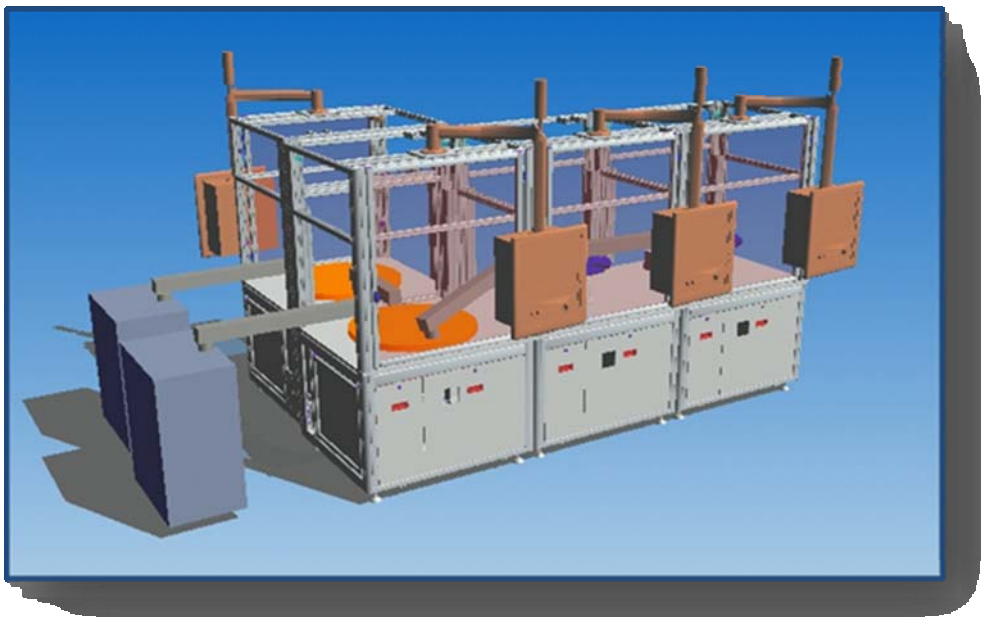


Abbildung 29: Simulationsmodell der Referenzanlage im Programm 3D-Create

5.4.2.4 Fazit/ Kosten

Das Ergebnis der zweitägigen Schulung, überzeugt vollständig von der Leistungsfähigkeit des Programms. Gerade die Flexibilität der Simulationsmodelle und die Wiederverwendbarkeit der Modellbausteine erfüllen die Anforderungen, die sich aus dem Einsatz des Tools zur Simulation modularer Montageanlagen in der Angebots- und Realisierungsphase ergeben. Die Drag-and-drop-Technologie in Verbindung mit dem „Plug & play“-Verfahren ermöglicht

einen schnellen und einfachen Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte. Mit dem Definieren von Parametern, können Simulationsbenutzer die Elementeigenschaften ändern, ohne über Kenntnisse in Programmierung oder Modellierung zu verfügen. Diese Parameter können auch live in der Simulation variiert werden. Die Auswirkungen werden sofort sichtbar. Zur besseren Übersicht ist die Parameterseite der Elemente in Registerkarten unterteilt. Diese Seite wird später an die eigenen Vorstellungen angepasst.

Auch im Bereich der Kundenkommunikation erfüllt „3D-Create“ alle Ansprüche. Die Darstellung des Simulationsmodells ist nahezu fotorealistisch. Der kostenlose Viewer und die geringe Dateigröße ermöglichen den Versand der Modelle per E-Mail. Während der Simulation können Animationsgeschwindigkeit, Kameraposition und Zoom stufenlos eingestellt werden. Mit dem „Media Toolkit“ (Add-on) werden hochauflösende Bilder und Videos erstellt. Im Statistik-Add-on ist eine Experimentierverwaltung vorhanden.

Im Laufe der Arbeit mit 3D-Create zeigten sich auch Nachteile. Im Vergleich zu anderen Programmen existiert nur wenig vorgefertigte Logik (z.B. FIFO[9]). Einfache Abläufe, wie z.B. das Verbinden zweier Einzelteile zu einer Baugruppe, können nicht über Dialogfenster modelliert werden. Die Animation während der Simulation ist nicht komplett abschaltbar, womit die Berechnung der Simulation im Vergleich zu anderen Programmen etwas langsamer verläuft. Kein direkter Nachteil von 3D-Create, sondern ein eher allgemeiner Nachteil der 3D-Simulation, ist der um ca. 10 - 20 % höhere Aufwand der Modellierung im Vergleich zu den 2D-Simulationsprogrammen.

Für die geplanten Simulationen sollen zukünftig 3 Lizenzen installiert werden, wobei nur eine Entwicklerlizenz benötigt wird. Die beiden anderen Lizenzen dienen zum Modellieren der Anlagen aus vorhandenen Modellbausteinen. In 3D-Create gibt es dafür auch verschiedene Lizenzen. Mit 3D-Create selbst, können einzelne Modellbausteine und komplette Modelle erstellt werden. Mit 3D-Realize können Modelle nur aus vorhandenen Modellbausteinen zusammengestellt und parametriert werden. Die daraus resultierenden Kosten (Tabelle 6), sind im Vergleich zu den übrigen Programmen der Feinauswahl die niedrigsten.

Tabelle 6: Entstehende Kosten für die Anschaffung von 3D-Create

	Produktart	Lizenzkosten [€]	Wartungskosten [€/a]
	1 x 3D-Create	7.000	1.500
	2 x 3D-Realize	7.000	700
	1x Add-on Statistikmodul	1.850	370
	2 Tage Schulung	1500	
Summe		**17.350**	**2.570**

[9] engl. First In First Out

5.4.3 Modellierung der Referenzanlage mit der Software Enterprise Dynamics

5.4.3.1 Vorgehensweise

Die Einarbeitung in die Software erfolgte mit Hilfe der Studentenversion von Enterprise Dynamics (E. D.). Diese ist zeitlich unbeschränkt nutzbar, wobei die Modellgröße auf 30 Bausteine begrenzt ist. Die Studentenversion reicht jedoch aus, um sich in die Bedienung und Modellierung einzuarbeiten. Wie im Programm 3D-Create scheiterte auch hier die Modellierung der Referenzanlage an der Programmierung verschiedener Elemente (Rundtakttisch, Puffer). Eine Schulung in E. D. wurde nicht notwendig, da der deutsche Vertriebspartner, die Firma Incontrol GmbH, die Modellierung der Referenzanlage übernommen hat. Hierfür wurden alle relevanten Anlageninformationen an die Incontrol GmbH geschickt (vgl. Anlage 7) und in ergänzenden Telefonaten sind kleinere Unklarheiten beseitigt worden. Das so erstellte Simulationsmodell wurde im Rahmen einer dreistündigen Präsentation in der SITEC GmbH vom Simulationsexperten der Firma Incontrol GmbH vorgestellt. Dabei wurde, neben dem Leistungsumfang des Programms, intensiv auf die Methodik der Implementierung von Simulationsmodellen in E. D. eingegangen. Diese Methodik ist anschließend am erstellten Modell selbständig nachvollzogen worden. Somit ergibt sich ein ähnlich detaillierter Einblick in die Modellierung wie bei dem Programm 3D-Create.
Es hat sich herausgestellt, dass die Modellierung in E. D. der im Programm 3D-Create ähnelt. In den nächsten Abschnitten werden daher überwiegend die Unterschiede in der Modellierung zwischen beiden Programmen hervorgehoben.

5.4.3.2 Beschreibung der Modellbildung

Enterprise Dynamics ist ebenso wie 3D-Create eine bausteinorientierte Simulationssoftware, allerdings wird nur in zwei Dimensionen modelliert. Im sogenannten „Library-Tree“ sind alle vorhandenen Bausteine dargestellt und können per Drag-and-drop in das Layout gezogen werden. Dies bedeutet, dass E. D. die gleiche Strategie zur Modellierung wie 3D-Create verfolgt: Zuerst werden neue Modellbausteine angelegt oder bereits bestehende Modellbausteine angepasst, danach wird das Gesamtlayout der Montageanlage aus diesen Bausteinen modelliert und parametriert. Auch die Benutzeroberfläche (Abbildung 30) der Software ähnelt derjenigen von „3D-Create“, ist jedoch vollständig in Englisch. Das konkrete Vorgehen zur Erstellung von Modellen wird in den nächsten Abschnitten detailliert beschrieben.

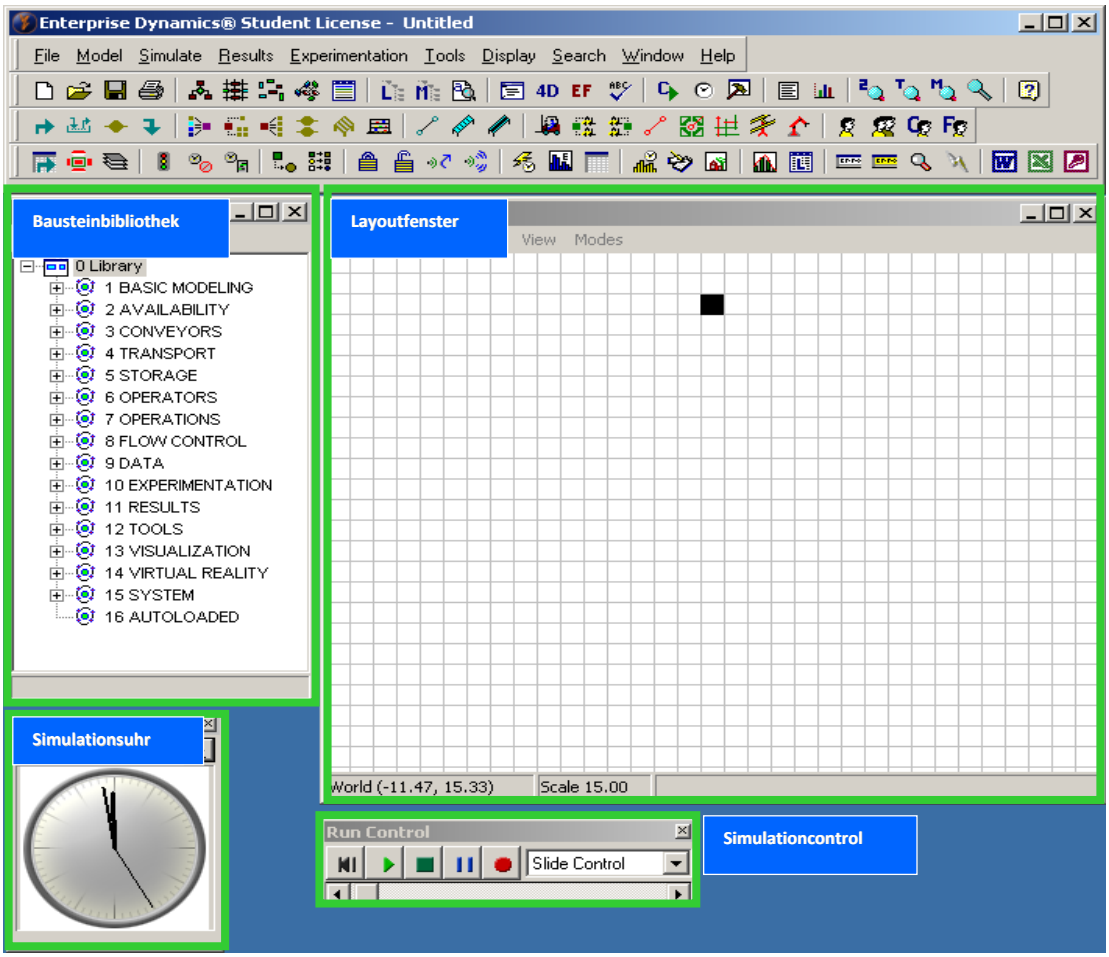


Abbildung 30: Benutzeroberfläche von Enterprise Dynamics

Im ersten Schritt werden die notwendigen Modellbausteine angelegt. Die Modellierung wird hier durch einen sogenannten „Atom Editor“ unterstützt (Abbildung 31). Er stellt verschiedene Dialogfenster, Eingabemasken und Entscheidungstabellen zur Verfügung, mit denen die Logik und das Aussehen der Bausteine definiert werden können. Die Einzelschritte an sich unterscheiden sich nicht wesentlich von denen des 3D-Create.

Zuerst wird das Symbol oder die Grafik für den Baustein definiert, anschließend die Ablauflogik in Form der internen Programmsprache „4D Script“. Nachdem die Logik implementiert wurde, wird die Benutzeroberfläche (GUI[10]) definiert. Diese kann ähnlich der Parameterseite im 3D-Create gestaltet werden. Hier können später die Variablen des Modellbausteins bequem geändert werden. Diese Benutzeroberfläche wird jedoch nicht automatisch im Hintergrund generiert, sondern muss extra angelegt werden. Der fertige Modellbaustein wird nun in der Modellbibliothek unter einem aussagekräftigen Namen abgespeichert. Im Unterschied zu 3D-Create enthalten diese Modellbausteine noch keine Schnittstellen. Der Programmieraufwand entspricht in etwa dem in 3D-Create.

[10] engl. Graphical User Interface

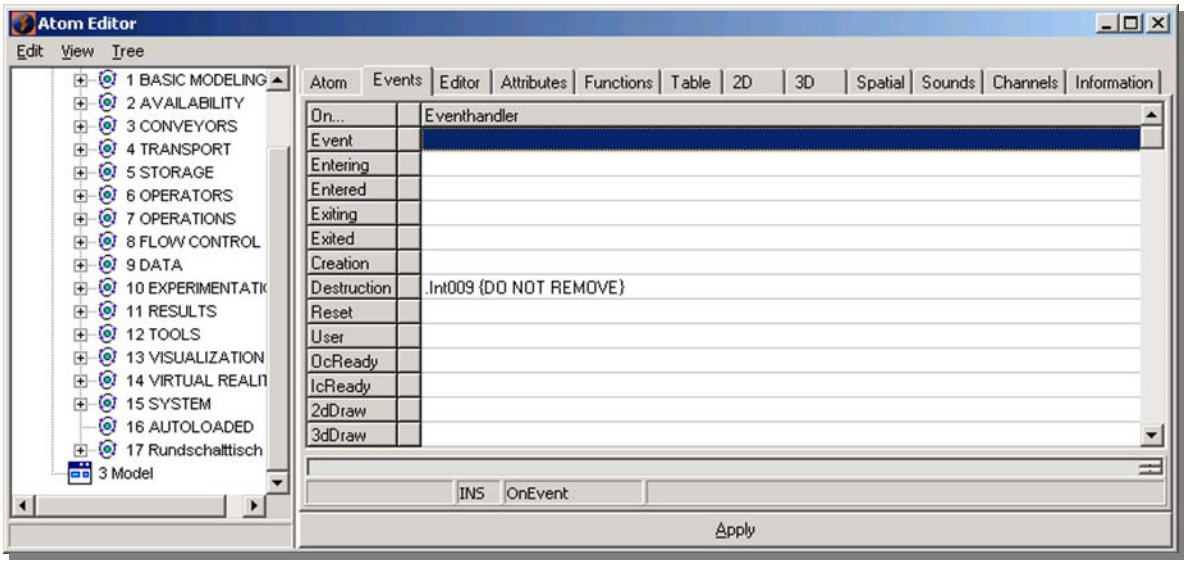


Abbildung 31: „Atom Editor“ als Unterstützung der Modellierung

Im zweiten Schritt wird aus den vorhandenen Modellbausteinen das Gesamtlayout modelliert. Die Elemente werden per Drag-and-drop aus dem „Library-Tree“ in das Layout gezogen und angeordnet. Da bei der Erstellung der Bausteine keine Schnittstellen angelegt werden können, müssen nun die Bausteine manuell miteinander verbunden werden. Dies geschieht mithilfe sogenannter „Channels“. Channels sind Materialfluss- oder Signalfluss- eingänge oder -ausgänge und werden per Mausklick miteinander verbunden oder getrennt (Abbildung 32).

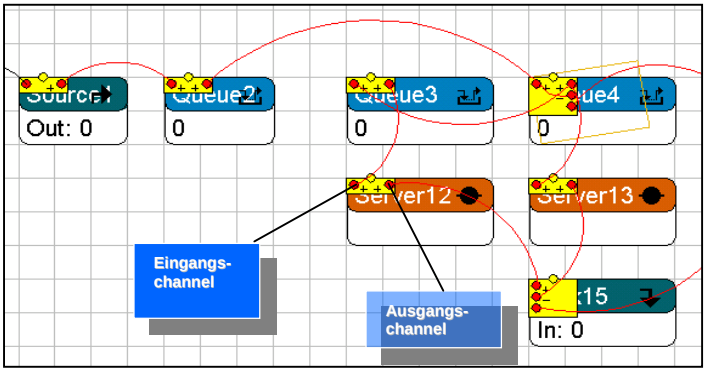


Abbildung 32: Channels in Enterprise Dynamics

Im dritten Schritt wird analog zu 3D-Create das erstellte Simulationsmodell parametrisiert. Dafür dienen die vorher erstellten bausteinspezifischen Dialogfenster (GUI). Der Simulationslauf kann gestartet werden.

5.4.3.3 Bewertung der Modellierung

Der Zeitbedarf für das Anlegen eines Modellbausteins ist etwas geringer als im Programm 3D-Create. Dies liegt an der Unterstützung durch den „Atom Editor“. Allerdings ist auch hier der größte Teil der Logik durch Programmierung umzusetzen (z.B. Drehung des Rundtakt-

tisches erst, wenn alle Prozesse abgeschlossen sind). Bei der Modellierung kompletter Anlagen aus vorhandenen Modellbausteinen hingegen ist ein vergleichsweise größerer Zeitbedarf notwendig, da die Elemente manuell miteinander verknüpft werden müssen. Zudem wird das Modell bei vielen Verknüpfungen schnell unübersichtlich (vgl. Abbildung 32).

Hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit und Flexibilität bestehen keine großen Unterschiede zwischen beiden Programmen. Modellbausteine können per Mausklick eingefügt, gelöscht und unterschiedlich angeordnet werden. Nachteilig ist, dass beim Austauschen eines Bausteins durch einen anderen (z.B. ein Rundtakttisch mit 4 Stationen durch einen mit 8 Stationen) alle Verknüpfungen des Bausteins gelöscht und manuell neu erstellt werden müssen.

Das, von der Firma Incontrol GmbH, erstellte Referenzmodell ist nur teilweise funktionsfähig. Die Simulation kann gestartet werden und die Systemzustände werden auch korrekt angezeigt. Allerdings sind kleinere Fehler im Ablauf vorhanden. Beispielsweise dreht sich der Rundtakttisch vom Modul 2 auch dann weiter, wenn kein Teil vom Modul 1 bereitgestellt wird (zu erkennen an der oberen, nicht besetzten Station im Modul 2 in Abbildung 33). Auch der optische Eindruck des Simulationsmodells ist schlechter als der des Modells von 3D-Create. Diese Mängel beruhen darauf, dass aus betrieblichen Gründen der Firma Incontrol GmbH für die Modellierung insgesamt weniger Zeit zur Verfügung stand als dem Autor dieser Arbeit in der zweitägigen Schulung bei der Dualis GmbH. Sie sind keineswegs auf fehlende Funktionen oder Mängel des Programms zurückzuführen.

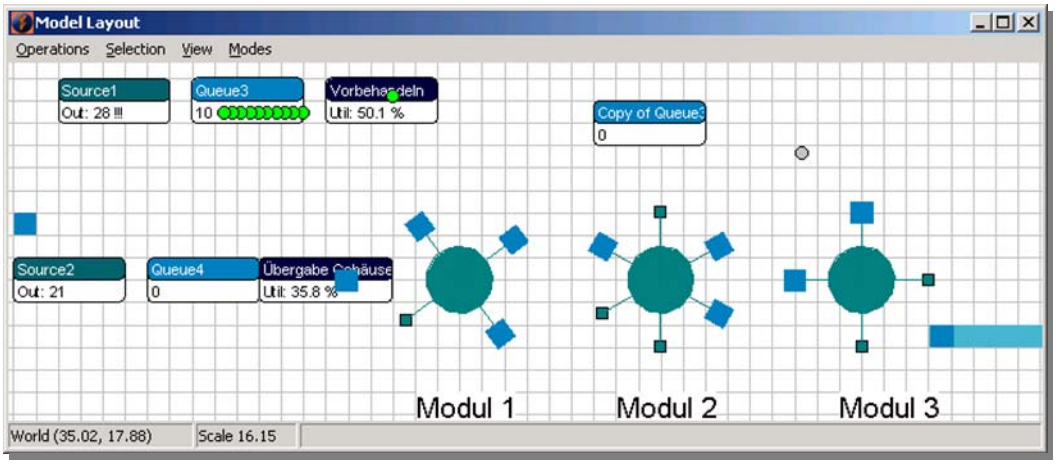


Abbildung 33: Erzeugtes Modell der Referenzanlage mit Enterprise Dynamics

5.4.3.4 Fazit/ Kosten

Grundsätzlich ist das Programm Enterprise Dynamics für die Simulation komplexer Montageanlagen gut geeignet. Es erfüllt die wesentlichen Merkmale, die an die Software gestellt werden. Ein wesentlicher Unterschied zum Programm 3D-Create ist, dass ausschließlich in 2D modelliert wird, ein 3D-Modell muss gesondert erstellt werden. Die zu importieren Volu-

menmodelle lassen sich auch nicht über ein Plug-In vereinfachen. Dies muss daher bereits im Konstruktionsprogramm erfolgen. Eine Parameterseite für die Modellbausteine wird nicht automatisch generiert. Es muss dafür eine Benutzeroberfläche für den Baustein über den GUI-Builder[11] definiert werden. Die Schnittstellen verfügen nicht über die „Plug & play"-Funktionalität, sondern müssen bei Änderungen immer wieder manuell hergestellt werden. Die Benutzeroberfläche ist komplett in englischer Sprache.

Ein Vorteil von Enterprise Dynamics im Vergleich zu 3D-Create liegt darin, dass dem Benutzer mehr Unterstützung bei der Modellierung der Modellbausteine durch den „Atom Editor" gegeben wird. Dennoch müssen die komplexen Vorgänge von automatisierten Montageanlagen zum größten Teil über die interne Programmiersprache „4D Script" programmiert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Vergleich zu 3D-Create die Nachteile geringfügig überwiegen. Die Modellierung der Referenzanlage mit E. D. konnte nicht gleichermaßen zufriedenstellend realisiert werden wie mit 3D-Create. Einen Vorteil von 3D-Create im Vergleich zu E. D. stellt der Mechanismus der „Plug & play"-Schnittstellen dar. Gerade weil das Programm auch in der Angebotsphase eingesetzt werden soll, in der oft Komponenten getauscht, ergänzt oder gestrichen werden, ist die manuelle Verbindung der Channels in E. D. ein Nachteil.

Ähnlich wie bei dem Programm 3D-Create existieren auch in E. D. verschiedene Lizenzarten. In der Studio-Version können Modellbausteine erstellt und geändert werden. In der Economy-Version hingegen können die Modelle nur aus vorhandenen Bausteinen modelliert werden. Für die Anschaffung einer Entwicklerlizenz und zweier Anwenderlizenzen ergibt sich somit folgende Kostenübersicht (Tabelle 7):

Tabelle 7: Entstehende Kosten für die Anschaffung von E. D.

	Produktart	Lizenzkosten [€]	Wartungskosten [€/a]
	1 x E. D. Studio	17.500	2.775
	2 x E. D. Economy	10.000	1.990
	5 Tage Schulung	4.500	
Summe		**32.000**	**4.265**

[11] Programmmodul zum Erzeugen von benutzerdefinierten Dialogfenstern

5.4.4 Modellierung der Referenzanlage mit Arena

5.4.4.1 Vorgehensweise

Wie mit den Programmen 3D-Create und E. D. wurde auch in Arena versucht, die Referenzanlage mithilfe der Studentenversion zu modellieren. Die Funktion, Modellbausteine anzulegen und abzuspeichern, ist jedoch in dieser Version nicht verfügbar. Zudem war es auch hier wie in den anderen Programmen nicht möglich, ohne Schulung diese Anlage mit einem vertretbaren Aufwand zu modellieren. Daher wurde analog zur Modellierung in E. D. vorgegangen. Die Referenzanlage wurde vom deutschen Vertriebspartner, der Firma SAT AG in Freiburg, modelliert und mit Hilfe einer WebEx[12]-Präsentation vorgestellt. Danach wurden die Einzelschritte der Erstellung einzelner Modellbausteine nachvollzogen, sowie einige Modifikationen am Simulationsmodell durchgeführt. Dies liefert wesentlich mehr Erkenntnisse als die reine Präsentation und stellt eine effiziente und effektive Methode in der Bewertung der Modellierung in Arena dar.

5.4.4.2 Beschreibung der Modellbildung

Arena verfolgt die gleiche Strategie wie 3D-Create oder E. D. In einem ersten Schritt werden Modellbausteine (sog. Templates) erstellt, die in einer Bibliothek abgespeichert werden. Das eigentliche Modell wird aus diesen vorgefertigten Templates schnell und flexibel erstellt.

Zum Erzeugen eines Templates wird zunächst die Benutzeroberfläche für die spätere Eingabe der Parameter mithilfe eines GUI-Builders generiert. Anschließend wird die für das Template spezifische Ablauflogik modelliert. In diesem Schritt unterscheidet sich Arena wesentlich von den anderen untersuchten Simulationsprogrammen, da die Ablauflogik nicht anhand eines Editors programmiert, sondern grafisch, in Form eines Ablaufdiagramms definiert wird (Abbildung 34). Dieses Ablaufprogramm wird erneut mithilfe vorgefertigter Elemente, sog. Basic Processes, per Drag-and-drop erzeugt (vergleichbar mit der Erstellung von Ablaufdiagrammen in MS-Visio). Ein Basic-Process ist beispielsweise eine Entscheidung, Verknüpfung, Trennung oder ein zeitverbrauchender Arbeitsprozess. Die Benutzeroberfläche und die Ablauflogik werden in einem *.tpl-File abgespeichert. Aus diesem *.tpl-File wird später ein *.tpo-File generiert, das das Template darstellt. Im *.tpo-File selbst können keine Änderungen des Dialogfensters oder der Logik vorgenommen werden.

[12] Präsentationsform, die auf einer Internet- und Telefonkonferenz basiert

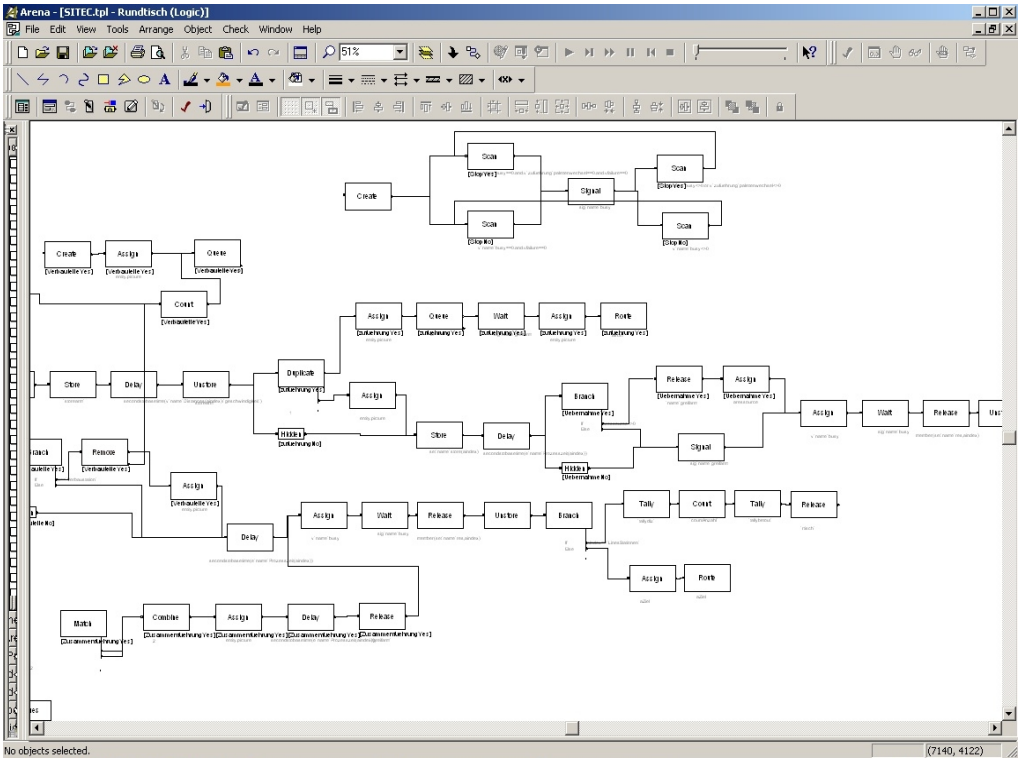


Abbildung 34: Modellierung der Templates mithilfe von Ablaufdiagrammen

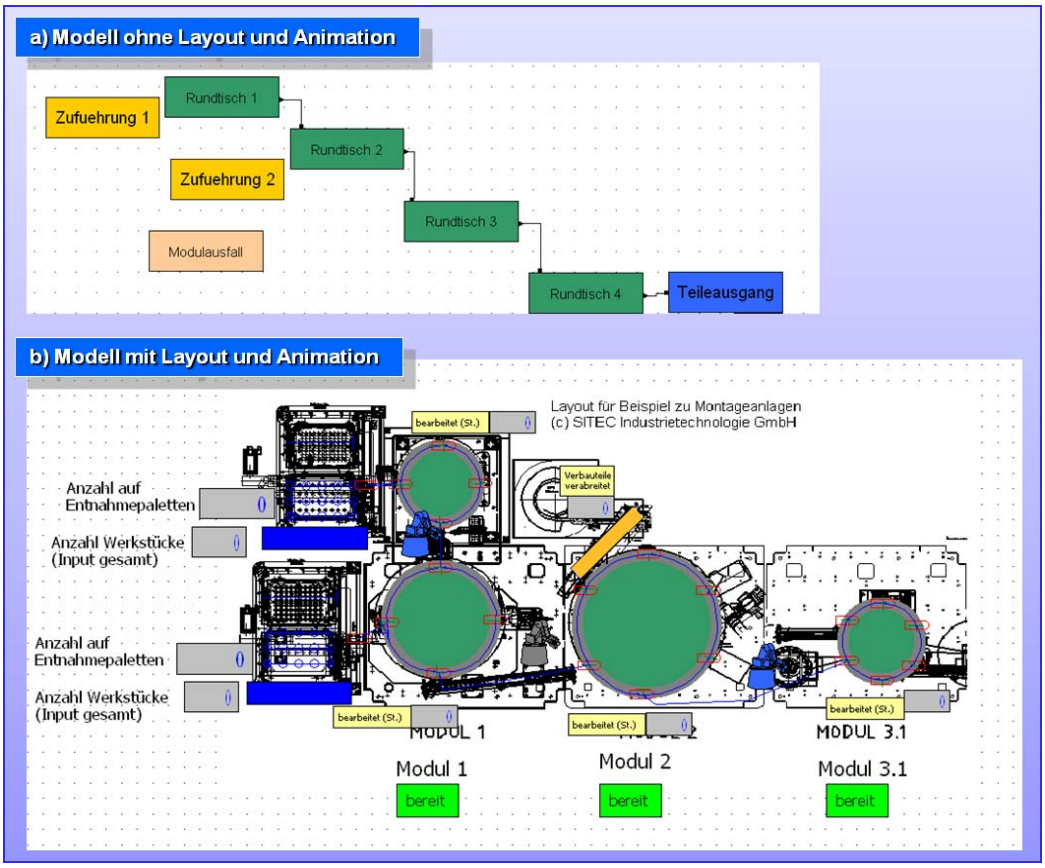
Aus den so erzeugten Templates wird nun die eigentliche Anlage modelliert und mithilfe der Dialogfenster parametrisiert. Das entstandene Modell bildet zwar die Abläufe der Anlage richtig ab, ist aber in der Darstellung sehr abstrakt, da es keine Layoutinformationen oder Animationen enthält. Ein anschauliches 2D-Modell muss extra erstellt werden (Abbildung 35). Wird ein 3D-Simulationsmodell benötigt, muss dieses wiederum in einem anderen Programmmodul, dem Arena 3D Player, extra erstellt werden.

5.4.4.3 Beurteilung der Modellierung

Der Zeitaufwand für die erstmalige Erstellung der Templates ist mit dem im 3D-Create vergleichbar (2 Tage). Auch der Aufwand für die Modellierung der Referenzanlage aus den vorhandenen Templates ist mit mehreren Stunden bis einem Tag ähnlich gering wie im 3D-Create. Die Implementierung der Logik anhand der Ablaufdiagramme ist in Arena gut gelöst, bedeutet aber für die Erstellung der Templates keinen Zeitgewinn (vgl. Zeitaufwände).

Aufgrund des schnellen Herstellen und Löschens von Verknüpfungen der autonom gestalteten Templates ist das Referenzmodell in Bezug auf Änderungen ähnlich flexibel wie das im 3D-Create erstellte Modell. Die Verknüpfungen können automatisch oder manuell hergestellt werden. Nachteilig an Arena sind die zusätzlichen Aufwände für die Erzeugung anschaulicher 2D-Modelle. Werden 3D-Modelle benötigt, müssen diese wiederum zusätzlich erstellt werden. Bei 3D-Create geschieht dies bereits bei der Modellierung des eigentlichen Modells.

Das von der SAT AG erstellte Referenzmodell erfüllt vollständig die Anforderungen der Anlagenvalidierung und der Kundenkommunikation. Die Parameter lassen sich schnell über die gut strukturierten Dialogfenster ändern, die Statistik wird im Modell live angezeigt. Die erstellten Animationen reichen aus, um die ablaufenden Prozesse der Montageanlage einem Außenstehenden zu verdeutlichen.



5.4.4.4 Fazit

Wie alle im Rahmen der Feinauswahl getesteten Programme eignet sich auch Arena grundsätzlich für die Simulation der Montageanlagen der SITEC GmbH. Bei der Implementierung des Referenzmodells in das Programm gibt es, im Gegensatz zu E. D. und 3D-Create, nur den wesentlichen Unterschied, dass Ablaufdiagramme anstatt Programmtexte für die Modellierung der Logik dienen. Für die Validierung der Anlagenkonzepte ist es uneingeschränkt zu empfehlen. Die Mehraufwände bei der Erstellung ansprechender und animierter Modelle hingegen stellen einen erheblichen Nachteil im Vergleich zu 3D-Create dar.

In Arena existieren zwei Lizenzarten. Die Professional-Edition wird für das Erstellen von Templates benötigt. In der Runtime-Version können angelegte Modelle über die Template-spezifischen Dialogfenster parametrisiert werden. Ein Hinzufügen oder Löschen von Templates ist jedoch nicht möglich, sodass die Runtime-Version für die SITEC GmbH nicht geeignet

ist. Es müssen folglich drei Lizenzen der Professional-Edition erworben werden. Die hieraus entstehenden Kosten sind im Vergleich mit 3D-Create und E. D. die höchsten der drei final betrachteten Programme (Tabelle 8).

Tabelle 8: Entstehende Kosten für die Anschaffung von Arena

	Produktart	Lizenzkosten [€]	Wartungskosten [€/a]
	3 x Arena Professional	58.500	10.500
	3 Tage Schulung	inklusive	
Summe		**58.500**	**10.500**

5.4.5 Modellierung der Referenzanlage mit der Software Witness

Ähnlich wie bei den anderen Programmen wurde hier zunächst versucht, die Referenzanlage mithilfe der Studentenversion von Witness zu modellieren. Diese Software bietet auch eine vorgefertigte Bausteinbibliothek an, u.a. mit einem Modellbaustein „Drehtisch“. An diesem Drehtisch ist u.a. die Anzahl der Stationen sowie die Taktzeit als Parameter einstellbar (Abbildung 36). Das Problem an diesem Element ist, dass nur eine Taktzeit einstellbar ist, die bestimmt, wann sich der Tisch dreht. Die Rundtakttische der SITEC GmbH hingegen fragen zyklisch alle einzelnen Prozesse auf deren Status (in Bearbeitung/ Bearbeitung abgeschlossen) ab und drehen sich erst dann, wenn alle Prozesse abgeschlossen sind. Die Möglichkeit, die längste Prozesszeit eines Rundtakttisches als Taktzeit des Witness-Drehtisches einzusetzen, scheidet aus, weil hierbei die Simulation die ablaufenden Prozesse nicht hinreichend realistisch abbildet, da durch die Streuung der Prozesszeiten an jeder Station im Voraus noch gar nicht feststeht, welcher Prozess am längsten dauert. Der Einfluss des Zufalls wird bei diesem Modellbaustein ignoriert, dies widerspricht den Simulationszielen. Daher wurde versucht, den vorhanden Modellbaustein zu modifizieren. Wie in den vorherigen Programmen, ist es jedoch auch mit Witness nicht möglich, ohne den Besuch einer Schulung oder Unterstützung durch den Vertriebspartner diese komplexe Logik in den Baustein zu implementieren.

Die Modellierung der Referenzanlage durch den deutschen Vertriebspartner von Witness, die Firma Lanner GmbH, konnte aufgrund deren großer Auslastung nicht umgesetzt werden. Im Gegenzug wurde eine kostenfreie fünftägige Schulung in Witness angeboten. Terminliche Gründe sowie die Tatsachen, dass die Modellierung mit Witness keine entscheidenden Vorteile gegenüber den anderen Programmen bot (dies konnte aus der Arbeit mit der Studentenversion abgeschätzt werden) und keine neuen Erkenntnisse hinsichtlich der Eignung von Witness für die SITEC GmbH aus der Schulung zu erwarten waren, führten zur Absage dieses Angebots. In Abstimmung mit dem Betreuer wurde daher beschlossen, Witness im Rahmen der

Feinauswahl nicht weiter zu untersuchen. Es scheidet für die Empfehlung als Simulationsprogramm für die SITEC GmbH aus.

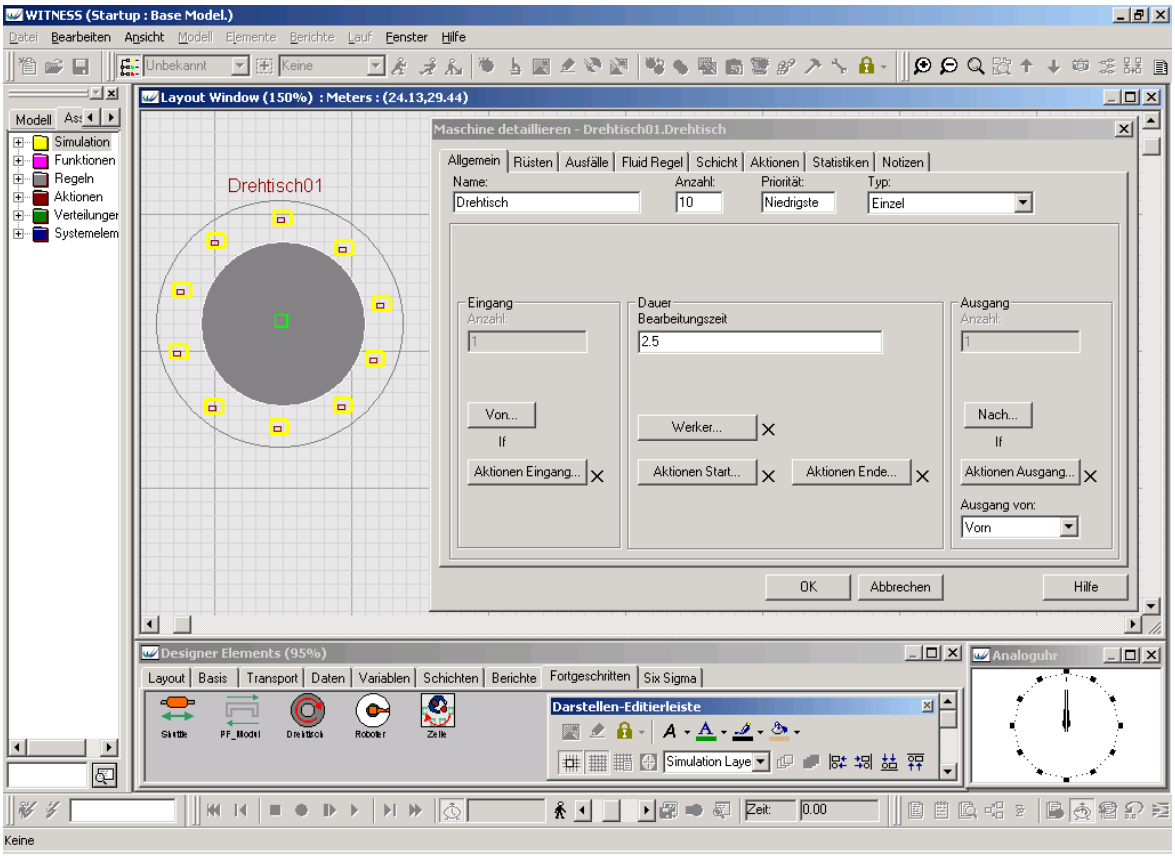


Abbildung 36: Programmoberfläche von Witness mit geöffnetem Element "Drehtisch"

5.4.6 Modellierung der Referenzanlage mit weiteren Simulationsprogrammen

Neben den Programmen, die aufgrund der Nutzwertanalyse im Rahmen der Feinauswahl intensiver untersucht wurden, wurde die Referenzanlage mit weiteren Simulationsprogrammen modelliert. Dies bot sich an, da verschiedene regionale Wissensträger dieser Programme Interesse an den Erkenntnissen dieser Diplomarbeit zeigen.

Die Firma Hörmann-Rawema bietet Schulungen im Programm Plant Simulation an und nutzt die Referenzanlage als Praxisbeispiel für ihre Schulung. Siemens-VDO in Limbach-Oberfrohna setzt ProModel zur Simulation ihrer Anlagen ein und ist an der Modellierung der Referenzanlage interessiert, da sie diese selbst im Einsatz hat. Die Hochschule Mittweida (FH) nutzt Delmia-Quest für die Ablaufsimulation und ist für die praxisorientierte Ausbildung immer wieder an Industriebeispielen interessiert. Die Modellierung der Referenzanlage in Zusammenarbeit mit den genannten Partnern bestätigte zum größten Teil die Einschätzungen dieser Programme im Rahmen der Nutzwertanalyse. Sie stellt somit eine Rückkopplung der Bewertungen dar und erhöht die Sicherheit der NWA. Die erzielten Ergebnisse sind in der Anlage 8 beschrieben.

5.4.7 Empfehlung einer Simulationssoftware

Das Ergebnis der Feinauswahl zeigt, dass die Programme 3D-Create, E. D. und Arena für die Simulation der Montageanlagen der SITEC GmbH gut geeignet sind. Die hohen Bewertungen und knappen Abstände dieser Programme in der Nutzwertanalyse werden also bestätigt. Weiterhin bestätigt sich auch die Einschätzung der Nutzwertanalyse, dass die Programme Delmia-Quest und ProModel für die Ablaufsimulation modularer Anlagen grobe Mängel aufweisen (z.B. die fehlende Möglichkeit Modellbibliotheken anzulegen) und daher nicht zu empfehlen sind (vgl. Anlage 8).

Im direkten Vergleich der Modellierung des Referenzmodells sind die Unterschiede der Umsetzung und der Ergebnisse nicht wesentlich (vgl. 5.4.2 Abschnitt bis 5.4.4). Der Autor dieser Arbeit empfiehlt 3D-Create als die am besten geeignete Software zur Simulation komplexer, modularer Montageanlagen innerhalb der Angebots- und Realisierungsphase für die SITEC GmbH. Folgende Untersuchungsergebnisse führen zu dieser Entscheidung:

- 3D-Create verfügt als einziges Programm über „Plug & play“-Schnittstellen. Diese ermöglichen den besonders schnellen und flexiblen Einsatz des Programms im Rahmen der Angebotsphase (große Freiheitsgrade in der Anlagenplanung).
- Für die Steuerung der erstellten Modellbausteine müssen keine extra Dialogfenster erstellt werden, 3D-Create erzeugt automatisch eine variable Parameterliste. Diese kann bei Bedarf aber auch angepasst werden. In E. D. und Arena müssen zwingend Dialogfenster mit dem GUI-Builder erstellt werden (zusätzlicher Aufwand).
- 3D-Modelle und Animationen in hoher Qualität werden mit 3D-Create direkt beim Modellieren erzeugt. In E. D. und Arena sind dafür zusätzliche Arbeitsschritte notwendig. 3D-Create verfügt zudem als einziges Programm über die Möglichkeit 3D-Volumenmodelle beim Importieren zu vereinfachen (z.B. Reduzierung der Polygonanzahl), um so die Simulationsperformance nicht zu schwächen.
- Der nach Kategorien und Firmen gegliederte eCat-Katalog in 3D-Create ermöglicht den kostenlosen Zugriff auf Modellbausteine, die von anderen Firmen erstellt und online freigegeben worden sind. Ein solches Feature existiert in Arena und E. D. nicht.
- Die Software besitzt als einzige eine deutschsprachige Benutzeroberfläche, dies erleichtert die intuitive Bedienung.
- 3D-Create bietet die Möglichkeit der Robotersimulation und Kollisionsprüfung. Im Zuge der Simulationseinführung müssen nähere Untersuchungen zur Verwendung dieses Tools getätigt werden, die in dieser Arbeit nicht durchgeführt werden konnten. Ein Anwendungsgebiet ist die Simulation der Roboterprogramme, um daraus Ablauffehler, Prozess-

zeiten oder Kollisionen zu erkennen. Ein solches Werkzeug ist in den anderen Programmen nicht vorhanden.

- Die Lizenz- und Wartungskosten sind im Vergleich zu Enterprise Dynamics und Arena die geringsten. E. D. ist in der Anschaffung 2-mal, Arena 3,5-mal so teuer (siehe Abbildung 37).

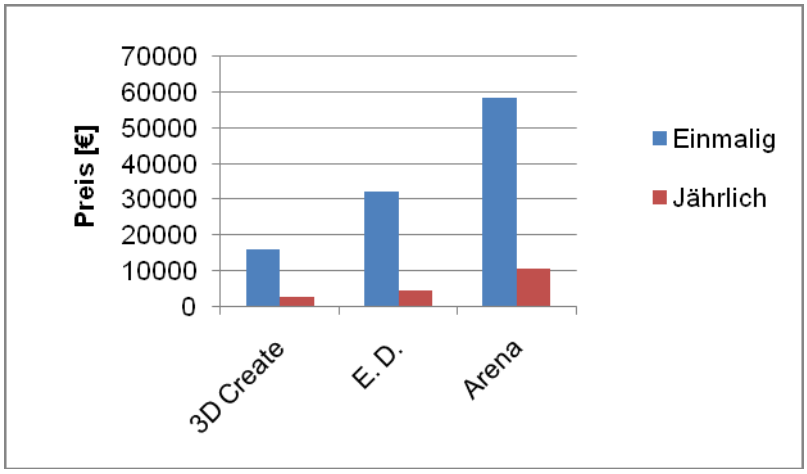


Abbildung 37: Vergleich der einzelnen Programmkosten

- Im Fall eventuell auftretender Schwierigkeiten bei der Modellierung von Anlagenmodulen stellt die geringe Entfernung zum Vertriebspartner, der Dualis GmbH in Dresden, einen Vorteil gegenüber den anderen Vertriebspartnern dar (SAT AG mit Sitz in Freiburg, Incontrol GmbH mit Sitz in Wiesbaden), da die Vermittlung von zu modellierenden Problemstellungen an den Anlagen selbst, besser (haptisch) erfolgen kann als über Telefon und E-Mail.

Ein Vorteil der beiden anderen Programme im Vergleich zu 3D-Create ist die Möglichkeit der Modellierung in 2D, die in 3D-Create nicht möglich ist. Die Modellierung und Animation der Anlagen in drei Dimensionen dauert erfahrungsgemäß länger als in 2D. Arena und E. D. bieten für die Modellierung insgesamt auch mehr Dialogfenster und vorgefertigte Logik an und bilden somit einen „roten Faden“ in der Vorgehensweise der Modellierung.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Umgang mit dem Programm 3D-Create, das erstellte Simulationsmodell, die Rezensionen anderer Anwender (Fa. Xenon, vgl. Abschnitt 5.2.4) und die Zusammenarbeit mit der Dualis GmbH während der Modellierung den Ausschlag gaben, dieses Programm für den Einsatz in der SITEC GmbH zu empfehlen.

6 Empfehlungen zur Einführung von Simulation ins Unternehmen

Dieses Kapitel gibt einen Ausblick über die weitere Vorgehensweise nach Beendigung der Programmauswahl. Zur Vermeidung unnötiger Arbeitsschritte und für die erfolgreiche Einführung der Simulation ist ein gezieltes und strukturiertes Vorgehen unerlässlich. Eine geeignete Simulationssoftware stellt nur das Werkzeug der Methodik „Simulation“ dar und ist kein Garant für ein gutes Gelingen von Simulationsstudien. Dieses Kapitel dient weiterhin dazu, die Aufwände und den Nutzen im Einführungszeitraum abzuschätzen, denn gerade in diesem Zeitraum ist die Euphorie der Anwender besonders hoch. Unrealistische Erwartungen an die Simulationsergebnisse führen zwangsläufig zu Ernüchterung und Unzufriedenheit. Entwickelt sich daraus eine ablehnende Haltung bei den Mitarbeitern, ist eine zukünftige erfolgreiche Nutzung der Simulation fraglich. Aus diesem Grunde ist es wichtig, realistische Etappenziele aufzuzeigen und den Nutzen der Simulationsergebnisse in der Einführungsphase zu relativieren.

Die Einführung der Software wird in neun Etappen untergliedert, im ersten Schritt werden mindestens zwei Mitarbeiter der SITEC GmbH eine Schulung bei dem deutschen Vertriebspartner, der Dualis GmbH, besuchen. Der Schwerpunkt dieser Schulung soll auf der Vermittlung von Programmierkenntnissen liegen, da für die Modellierung hauptsächlich Programmierarbeiten geleistet werden müssen. Diese Mitarbeiter stellen die zukünftigen Simulationsexperten im Unternehmen dar. In Vorbereitung auf die Schulung ist eine Einweisung in die Problematik der Simulation durch den Autor dieser Arbeit sinnvoll (vgl. Kapitel 2).

Anschließend wird vorläufig eine Lizenz von 3D-Create erworben und installiert. Mithilfe dieser Lizenz wird eine existente Montageanlage modelliert. Hierfür bietet sich die Referenzanlage dieser Diplomarbeit an, da in diesem Rahmen bereits Vorarbeiten bezüglich der Modellierung und Primärdatenbeschaffung geleistet wurden. Ziel der Modellierung soll sein, prinzipielle Erkenntnisse für das Erstellen der Bausteinbibliotheken und kompletter Simulationsmodelle zu erlangen, um hierbei zukünftig Fehler zu vermeiden. Die Beschaffung der Primärdaten erfolgt erst nach einer Abstrahierung der Montageanlage (Modellbildung). Dadurch wird der Umfang der zu sammelnden Primärdaten durch eine Filterung der relevanten Prozesse minimiert. Würde die Primärdatenbeschaffung vor der Modellbildung erfolgen, besteht das Risiko, zeitaufwendig Informationen zu beschaffen, die sich später als nutzlos erweisen.

In Vorbereitung auf das Anlegen der Bausteinbibliothek werden die Elemente der SITEC-Montageanlagen logisch strukturiert. Dabei handelt es sich nicht um eine technologische Strukturierung, wie sie etwa beim Anlegen eines Konstruktionskataloges angewandt wird, sondern um eine Gliederung entsprechend der abzubildenden Ablauflogik der einzelnen Modellbausteine. Ziel ist es, den Umfang der Bausteinbibliothek zu minimieren, in dem technologisch unterschiedliche Vorgänge, wie z.B. Schrauben und Schweißen, für die Simulation als z.B. zeitverbrauchendes Element zusammengefasst werden. Sie sind auf ihre Wiederverwendbarkeit zu prüfen. Elemente mit geringer Wiederverwendbarkeit werden nicht in die Bausteinbibliothek aufgenommen, sondern im Einzelfall bei Bedarf modelliert.
Im fünften Schritt wird die Bausteinbibliothek entsprechend der Gliederung angelegt. Die Vorgehensweise zur Modellierung der einzelnen Modellbausteine ist im Absatz 5.4.2.2 beschrieben. 3D-Create bietet durch den eCat-Katalog die Möglichkeit, Modellbausteine im Internet zu veröffentlichen und anderen Nutzern des Programms zugänglich zu machen. Nach der Modellierung der Bausteine ist zu prüfen, ob diese im eCat-Katalog freigegeben werden können oder ob dadurch Firmeninterna veröffentlicht werden. Es wird zudem empfohlen, den eCat-Katalog vor der Modellierung auf nutzbare Modellbausteine zu überprüfen. Das Ändern ähnlicher existenter Bausteine bedarf eventuell weniger Zeit als das Erstellen neuer Bausteine. Neben der Modellierung der Bausteinbibliothek sollten in diesem Schritt die notwendigen Primärdaten gesammelt und aufbereitet werden. Hierfür gibt es drei Quellen: Die technologischen Eigenschaften von Montageelementen sind den Herstellerangaben zu entnehmen (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Verzögerung von Linearförderern). Zeiten von zusammengesetzten Prozessen, wie beispielsweise Einschraubvorgänge werden durch Zeitaufnahmen erfasst. Die Systemzustände (Automatikbetrieb, Handbetrieb, Reparaturbetrieb) können aus den vorhandenen MDE-/ BDE-Systemen ausgelesen werden, um daraus Kennwerte wie MTBF oder MTTR zu errechnen.
Nachdem die Bausteinbibliothek mit 3D-Create angelegt wurde, werden zwei Anwenderlizenzen 3D-Realize erworben und installiert. Mit diesen Lizenzen werden zukünftig die Montageanlagen aus den Modellbausteinen modelliert und parametriert. Diese Lizenzen werden erst zu diesem Zeitpunkt angeschafft, da sie vor dem Anlegen der Bausteinbibliothek ohne Nutzen sind. Die Einweisung in 3D-Realize wird vom firmeninternen Simulationsexperten vorgenommen. Neben der Einweisung in das Programm müssen die Anwender auch in den Grundlagen der Simulation in Produktion und Logistik geschult werden, wofür sich das Kapitel 2 dieser Diplomarbeit eignet.

Nach der Installation der Anwenderversionen und dem Anlegen der Bausteinbibliothek sind alle vorbereitenden Maßnahmen für die Nutzung der Simulation in der SITEC GmbH abgeschlossen. Es erfolgt nun der schrittweise projektbegleitende Einsatz des Programms, wie in Kapitel 4 beschrieben. Die ersten Simulationsstudien sind dabei unter Vorbehalt zu bewerten. Es muss sich erst Sicherheit im Umgang mit Simulation und dem Programm einstellen. Dies bedeutet, dass geplante Montageanlagen in der Angebots- und Realisierungsphase modelliert und simuliert werden, dass aber auf die gewonnenen Ergebnisse keine Gewährleistung gegeben werden kann. In dieser Einführungsphase sollen kleinere Fehler in den Modellbausteinen oder den Primärdaten erkannt und abgestellt werden. Im Gegensatz dazu soll der Schritt 3, die Modellierung einer existenten Anlage, prinzipielle Fehlerpotenziale aufzeigen.
Der Übergang aus der Einführungsphase in die Nutzungsphase ist fließend. Nach spätestens 3 Simulationen muss jedoch der in Kapitel 4 beschriebene Sollzustand erreicht sein. Von diesem Punkt an erfolgt der nutzbringende Einsatz der Simulation. Parallel zur Nutzung werden Programmupdates installiert und bei Bedarf wird die Modellbibliothek erweitert. Läuft die Simulation ohne größere Probleme, kann die Funktionalität des Roboter-Add-on auf Verwendung geprüft werden. Ein potenzielles Anwendungsgebiet ist die Simulation der Robotersteuerung während der Realisierungsphase. Damit lässt sich evtl. zukünftig die Inbetriebnahme der Montageanlagen beim Kunden verkürzen.
Nach Meinung des Autors wird die Einführung der Simulation in den beschriebenen neun Schritten ca. zehn Monate dauern, wobei die Erstellung der Bausteinbibliothek inkl. Primärdatenbeschaffung den größten Teil der Zeit in Anspruch nehmen wird (Abbildung 39). Die Ziffern in dieser Abbildung beziehen sich dabei auf die Einzelschritte, die in Abbildung 38 auf der nachfolgenden Seite noch einmal übersichtlich dargestellt sind.

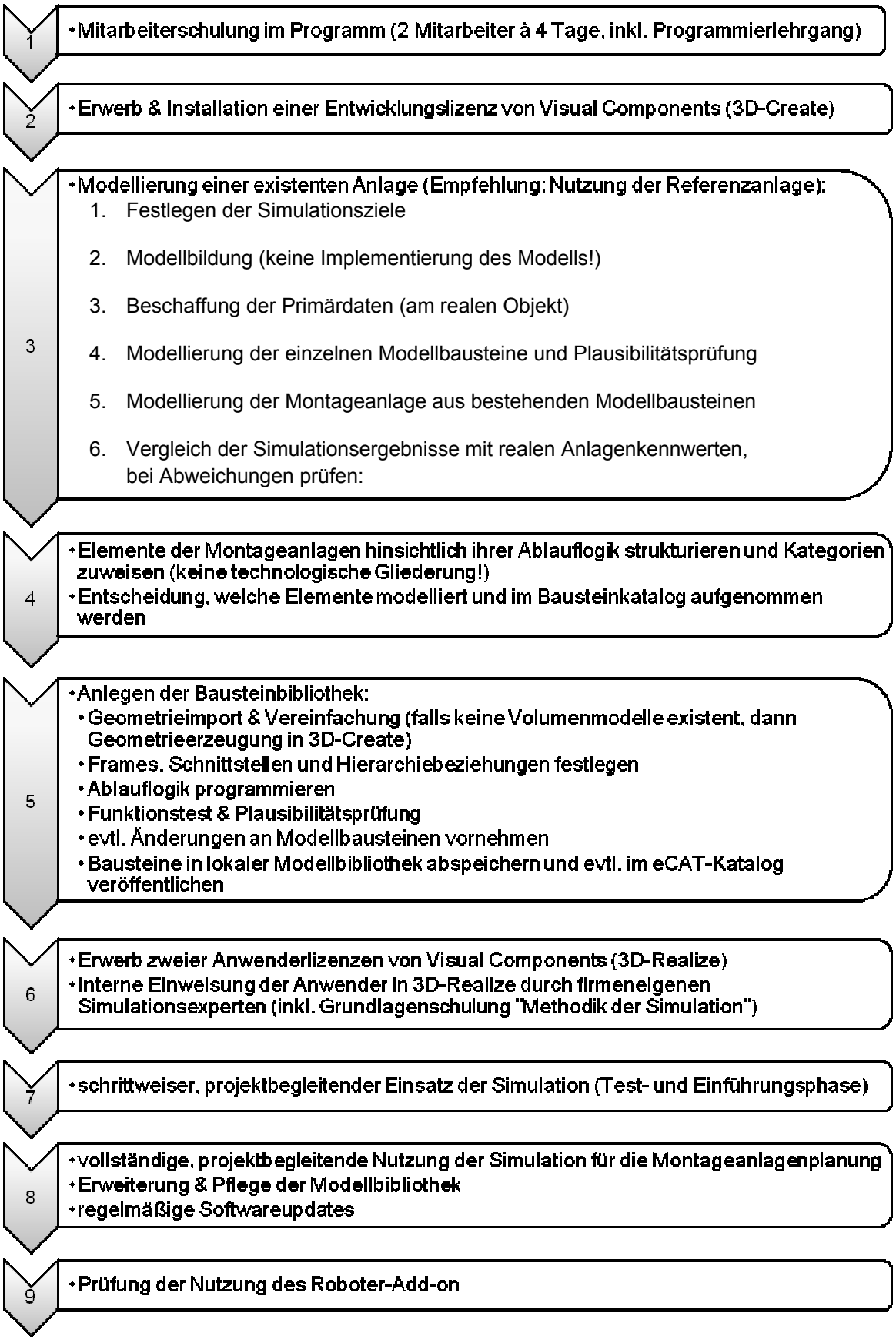

1
•Mitarbeiterschulung im Programm (2 Mitarbeiter à 4 Tage, inkl. Programmierlehrgang)
2
•Erwerb & Installation einer Entwicklungslizenz von Visual Components (3D-Create)
3
•Modellierung einer existenten Anlage (Empfehlung: Nutzung der Referenzanlage):
1. Festlegen der Simulationsziele
2. Modellbildung (keine Implementierung des Modells!)
3. Beschaffung der Primärdaten (am realen Objekt)
4. Modellierung der einzelnen Modellbausteine und Plausibilitätsprüfung
5. Modellierung der Montageanlage aus bestehenden Modellbausteinen
6. Vergleich der Simulationsergebnisse mit realen Anlagenkennwerten, bei Abweichungen prüfen:
4
•Elemente der Montageanlagen hinsichtlich ihrer Ablauflogik strukturieren und Kategorien zuweisen (keine technologische Gliederung!)
•Entscheidung, welche Elemente modelliert und im Bausteinkatalog aufgenommen werden
5
•Anlegen der Bausteinbibliothek:
•Geometrieimport & Vereinfachung (falls keine Volumenmodelle existent, dann Geometrieerzeugung in 3D-Create)
•Frames, Schnittstellen und Hierarchiebeziehungen festlegen
•Ablauflogik programmieren
•Funktionstest & Plausibilitätsprüfung
•evtl. Änderungen an Modellbausteinen vornehmen
•Bausteine in lokaler Modellbibliothek abspeichern und evtl. im eCAT-Katalog veröffentlichen
6
•Erwerb zweier Anwenderlizenzen von Visual Components (3D-Realize)
•Interne Einweisung der Anwender in 3D-Realize durch firmeneigenen Simulationsexperten (inkl. Grundlagenschulung "Methodik der Simulation")
7
•schrittweiser, projektbegleitender Einsatz der Simulation (Test- und Einführungsphase)
8
•vollständige, projektbegleitende Nutzung der Simulation für die Montageanlagenplanung
•Erweiterung & Pflege der Modellbibliothek
•regelmäßige Softwareupdates
9
•Prüfung der Nutzung des Roboter-Add-on

Abbildung 38: Schritte zur Einführung der Simulation ins Unternehmen

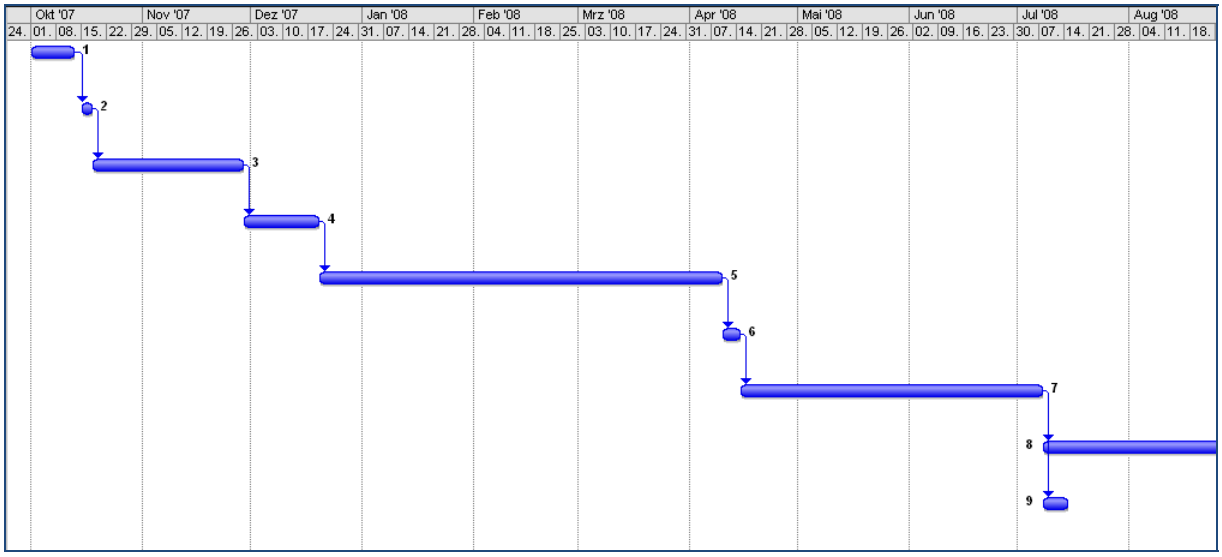


Abbildung 39: Zeitplan für die Einführung der Simulation in die SITEC GmbH

7 Fazit/ Bewertung der Umsetzung

Das Ziel dieser Diplomarbeit war die Auswahl eines geeigneten Programms für die Simulation der Montageanlagen der SITEC Industrietechnologie GmbH. Dieses Ziel ist nach Meinung des Autors erreicht worden.

Der hierfür gewählte Lösungsweg, wie er in Kapitel 1 dargestellt ist, ließ sich gut in die Praxis umsetzen. Die zweistufige Vorgehensweise mit Fein- und Grobauswahl erwies sich als notwendig, da eine detaillierte Untersuchung aller Programme im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht möglich gewesen wäre und die reine Nutzwertanalyse nur eine grobe Einschätzung der Programme zulässt. Die Tatsache, dass die in der NWA vorn platzierten Programme relativ dicht in der Bewertung beieinander liegen, bestätigt zudem auch die Notwendigkeit der Feinauswahl.

Diese NWA bietet nach Meinung des Autors einen umfangreichen Überblick über die am Markt vorhandenen Simulationsprogramme. Die vielseitige Art der Informationsbeschaffung bei Anbietern, Anwendern und Forschungseinrichtungen verhinderte eine einseitige und somit verfälschte Einschätzung der Simulationsprogramme. Es zeigte sich auch, dass eine allgemeine Bewertung von Simulationsprogrammen nicht sinnvoll ist. Erst anhand eines konkreten Anwendungsfalls (in diesem Fall die Simulation modularer Montageanlagen) können aussagekräftige Vergleiche und Schlussfolgerungen erbracht werden. Für andere Anwendungsgebiete können sich völlig abweichende Platzierungen ergeben.

Die Feinauswahl in Form der Modellierung einer Referenzanlage mit verschiedenen Programmen stellt eine aufwendige Art des Vergleichs dar und empfiehlt sich nur, wenn durch einen gröberen Vergleich keine Aussagen über die Eignung getroffen werden können. Dies ist bei den Ergebnissen der Nutzwertanalyse der Fall gewesen (geringe Unterschiede in der Bewertung der ersten Plätze). Die Dauer der Modellierung, die Flexibilität und Wiederverwendbarkeit der Modelle stellen wichtige Kriterien der Bewertung dar und konnten nur durch die Modellierung der Referenzanlage beurteilt werden. Zudem bestätigt diese zum größten Teil die Einschätzungen aus der Nutzwertanalyse und erhöht dadurch die Zuverlässigkeit der Aussagen.

Die Feinauswahl führte zu dem Ergebnis, dass alle drei untersuchten Programme für die SITEC GmbH prinzipiell geeignet sind. Die Entscheidung für 3D-Create wurde im Absatz 5.4.7 begründet, beruht jedoch auch zum Teil auf subjektiven Einschätzungen des Autors. Diese Subjektivität entspringt der Tatsache, dass ein Großteil der Programmeigenschaften einfach nicht ausschließlich monetär bewertbar ist (z.B. intuitive Bedienung). Der Autor dieser Arbeit ist davon überzeugt, mit dem Programm 3D-Create ein sehr gut geeignetes

Werkzeug für die Simulation der modularen Montageanlagen empfohlen zu haben. Das sechste Kapitel beschreibt die nachfolgenden Schritte sehr detailliert und gibt außerdem einen konkreten Zeitrahmen für die Einführung der Simulation vor. So soll verhindert werden, dass nach Abschluss dieser Diplomarbeit ein Bearbeitungsvakuum entsteht.

Für die SITEC GmbH als betreuendes Unternehmen dieser Diplomarbeit besteht der Wert dieser Arbeit zum einen darin, dass ein geeignetes Simulationsprogramm mithilfe einer fundierten Auswahl empfohlen wird und zum anderen darin, dass die Grundlagen der Simulation in Produktion und Logistik in einer für das Unternehmen angepassten Form für die spätere Verwendung zur Verfügung gestellt werden. Diese Arbeit stellt daher nicht nur einen Vergleich von Simulationsprogrammen dar, sondern bietet einen umfassenden Überblick auf das Gebiet der Ablaufsimulation inkl. Empfehlungen für die Einführung.

Der allgemeine wissenschaftliche Wert dieser Diplomarbeit besteht darin, dass für den Vergleich von verschiedenen Simulationsprogrammen eine Methodik konzipiert, umgesetzt und bewertet wurde. Da in Zukunft das Thema der Simulation eine wichtige Rolle in der Industrie spielen wird, können andere Firmen diese Methodik heranziehen, um eine für sich geeignete Simulationssoftware auszuwählen.

8 Zusammenfassung & Ausblick

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Auswahl und Empfehlung einer Software für die Ablaufsimulation von komplexen, modularen Montageanlagen. Diese soll als planungsunterstützendes Werkzeug in der Angebots-, Planungs- und Realisierungsphase eingesetzt werden, um die folgenden zwei Aufgaben zu erfüllen: Erstens soll die Simulation eine Validierung der eigenen Anlagenkonzepte in den verschiedenen Projektphasen ermöglichen, d.h. Anlagenkennwerte, die aus dem Lastenheft des Auftraggebers hervorgehen, wie z.B. Taktzeit und Verfügbarkeit, müssen mithilfe der Simulation fundiert und reproduzierbar ermittelt werden können. Zweitens soll Simulation helfen, die Kommunikation zwischen den Kunden und der SITEC GmbH sowie zwischen unterschiedlichen firmeninternen Abteilungen zu verbessern. Schließlich sind die mehrstufigen, abhängigen Montageprozesse in ihrer Gesamtheit nur schwer Außenstehenden zu vermitteln.

Hierfür wurden zunächst die Grundlagen der Simulation in Produktion und Logistik in Kapitel 2 erörtert. In diesem Rahmen wurden die Definition, die Motivation für den Einsatz und die Anwendungsgebiete für Simulation beschrieben. Der Absatz 2.4 gibt ausführliche Informationen über das Vorgehen für die Durchführung von Simulationsstudien. Die Gegenüberstellung des Nutzens und des Aufwands, sowie das Aufzeigen der Grenzen und Alternativen von Simulation runden dieses Kapitel ab.

Die Analyse des Istzustandes (Kapitel 3) ergab, dass die Simulation vorwiegend im Geschäftsfeld der Montageanlagen Anwendung findet, weil hier die Komplexität der ablaufenden Prozesse besonders hoch ist und mit den zukünftigen Projekten weiter steigen wird. Da in den Montageanlagen auch Laseranlagen und Prüfstände integriert sind, werden auch diese Geschäftsfelder tangiert. Der Bereich der elektrochemischen Anlagen ist kein Anwendungsgebiet für die Simulation. Die Validierung der Montageanlagen wird derzeit zum größten Teil durch die Projektleiter vorgenommen, da diese über genügend Erfahrung verfügen, um die Kennwerte der zu realisierenden Anlagen abzuschätzen. Es existiert noch kein reproduzierbares Verfahren für die Validierung der Montageanlagen. Die Taktzeitermittlung kann somit erst an der gefertigten Anlage vorgenommen werden. Als unterstützende Medien zur Kommunika-tion, werden vorwiegend 2D-Zeichnungen, 3D-Volumenmodelle und Ablaufdiagramme genutzt. Eine dynamische Darstellung der Prozesse ist nicht möglich.

In der Konzeption des Sollzustandes wurden die konkreten Ziele der Simulation, die dafür erforderlichen Methoden und die Zuständigkeiten definiert (Kapitel 4). Für die Erreichung des Teilzieles Anlagenvalidierung muss es künftig möglich sein, Schwankungen der Prozesszeiten, Rüst-, Stör- und Reparaturprozesse zu modellieren. Die Simulationsmodelle müssen für

eine Anwendung im Angebotszeitraum schnell erstellbar sein, wofür ein hierarchischer, modularer Aufbau der Modelle notwendig ist. Zur Erreichung des zweiten Teilzieles, der Verbesserung der Kommunikationsmöglichkeiten, müssen animierte Simulationsmodelle (evtl. in 3D) die Montageprozesse dynamisch abbilden können. Durchgeführt werden sollen diese Aufgaben zukünftig von Anlagenkonstrukteuren und Projektleitern. Der Vorteil in dieser Aufteilung besteht darin, dass die Konstrukteure ihre Anlagenkonzepte selbst validieren können. Sie vereinigen dabei den Simulations- und den Anlagenexperten in einer Person. Der Projektleiter organisiert die Zusammenarbeit der verschiedenen Abteilungen und bildet die Schnittstelle zwischen den Kunden und der SITEC GmbH. Er nutzt die Simulation vorwiegend zur Unterstützung der Kommunikation mit dem Kunden und anderen Abteilungen.

Im fünften Kapitel wird die Umsetzung des Lösungswegs beschrieben. Ausgehend von der Konzeption des Sollzustandes, wurde ein Anforderungskatalog an die Software erarbeitet. Anschließend wurde recherchiert, welche Simulationsprogramme aktuell am Markt existent sind. Dabei wurde auf Fachliteratur, Marktspiegel und verschiedene Wissensträger auf dem Gebiet der Simulation zurückgegriffen. In einem zweistufigen Auswahlverfahren wurden schließlich die Programme miteinander verglichen und das Programm 3D-Create wurde für die Verwendung empfohlen. Die erste Stufe umfasste eine Nutzwertanalyse, deren Kriterien von verschiedenen Personen der SITEC GmbH bewertet wurden, die später mit Simulation in Berührung kommen werden. Aus dieser Nutzwertanalyse sind 4 Programme hervorgegangen, die im Rahmen einer Feinauswahl intensiver getestet wurden. Die Feinauswahl bestand aus der Modellierung einer Montageanlage mit diesen Programmen. Anhand dieser Feinauswahl wurde dann entschieden, welches Programm das geeignetste für die SITEC GmbH ist. Alle, in der Feinauswahl, untersuchten Programme sind grundsätzlich für die Simulation der Montageanlagen geeignet. 3D-Create wurde deshalb empfohlen, weil hier die Modellbausteine sehr autonom gestaltet werden können und somit die Modellierung gesamter Anlagen mithilfe dieser Bausteine nur einen geringen Zeitaufwand benötigt. Die Qualität der Modelldarstellung ist mit Abstand die beste im gesamten Vergleich.

Das sechste Kapitel bildet einen Ausblick über die Vorgehensweise nach Abschluss der Diplomarbeit. Hier werden die nächsten notwendigen Schritte detailliert erläutert und einige Tipps für die Einführung der Simulation ins Unternehmen gegeben. Dieses Kapitel rundet diese Diplomarbeit inhaltlich ab und bildet den Ausblick.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.
Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Chemnitz, den 31.08.2007

Nico Nebel

Literaturverzeichnis

/ASIM/ **ASIM: Arbeitsgemeinschaft Simulation:** Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik. URL: <http://www.simulation.fraunhofer.de/fhg/Images/Handlungsanleitung-Simulation_tcm351-81913.pdf>, Verfügbar am: 13. August 2007

/HOYA/ **Hoya Lens:** Simulation der Gläserproduktion mit SpeedSim. – Vortrag zum Dualis Anwenderforum. – Dresden: Hoya Lens Deutschland GmbH, 26. April 2007

/FELS-04/ **Felsch, Thomas:** Systematisierung und Weiterentwicklung eines modularen Baukastens für Montagesysteme. – 2004
Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Diplomarbeit, 2004

/IPA/ **Schraft, Rolf Dieter ; Westkämper, Engelbert:** Simulation in Produktion und Logistik. URL: <http://www.ipa.fraunhofer.de/Arbeitsgebiete/digitalefabrik/sim/300_223%20Simulation.pdf>, Verfügbar am: 13. August 2007

/ISL/ **Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik:** Simulation und Optimierung betrieblicher Abläufe. URL: <http://www.isl.org/products_services/simulation/index.php?lang=de#Freie_Downloads>, Verfügbar am: 13. August 2007

/KELT-07/ **Kelton, David ; Sadowski, Randall P. ; Sturrock David**: Simulation with Arena. – 4. Aufl. – New York: McGraw-Hill Companies, 2007

/KUHN-97/ **Kuhn, Axel (Hrsg.) ; Schmidt, Ulrich**: Angewandte Simulationstechnik für Produktion und Logistik. – 1. Aufl. – Dortmund: Verl. Praxiswissen, 1997

/KUHN-98/ **Kuhn, Axel ; Rabe, Markus (Hrsg.):** Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung. – 1. Aufl. – Berlin, Heidelberg, New-York: Springer-Verlag, 1998

/IBF/ **IBF – Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme**: Konsultation Peggy Näser – Leiterin der Fachgruppe Fabrikplanung. Chemnitz: TU – Chemnitz, 29. März 2007

/PHI/ **Friemuth, Thomas ; Zwick, Michael ; Hillmann-Apmann, Hilmar**: Simulation in der Produktion. In: phi. – Hannover: Produktionstechnische Institute Hannover. – 2001 Heft-Nr. 2

/PROD/ **unbekannter Autor**: Mit Simulation schneller zum Produkt. URL: <http://www.produktion.de/article/004001011/d1e39a717ff.html>, Verfügbar am: 13. August 2007

/RINZ-92/ **Rinza, Peter ; Schmitz, Heiner**: Nutzwert-Kosten-Analyse: eine Entscheidungshilfe. – 1. Aufl. – Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 1992

/SIMP/ **SimPlan AG**: Simulation: Einstieg, Voraussetzungen, Ziele, Nutzen, Fakten, Grenzen. URL: <http://www.simplan.de/pdf/Sim-Broschuere1.pdf>, Verfügbar am: 13. August 2007

/SIMT/ **SimPlan AG**: Software für Simulationen. URL: <http://www.simulationstools.de>, Verfügbar am: 13. August 2007

/SITE1/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: SITEC – Firmenpräsentation. Chemnitz, 2007

/SITE2/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Wir über uns – das SITEC Kurzportrait. URL: < http://www.sitec-chemnitz.de/content/company/geschaeftsbereiche.html>, Verfügbar am: 14. August 2007

/SITE3/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Management – Handbuch: Abschnitt 1: Einführung. Rev.-Nr. 4. – Chemnitz, 2007

/SITE4/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Management – Handbuch: Anhang 4.1: Netzwerk der Geschäftsprozesse. Rev.-Nr. 6 – Chemnitz, 2007

/SITE5/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Management – Handbuch: Verfahrensanweisung 7.2.01: Angebotsbearbeitung Anlagen. Rev.-Nr. 3 – Chemnitz, 2006

/SITE6/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Management – Handbuch: Verfahrensanweisung 7.3.01: Projektablauf Maschinen / Anlagen. Rev.-Nr. 5 – Chemnitz, 2007

/SITE7/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Management – Handbuch: Verfahrensanweisung 7.2.03: Auftragsänderungen im Anlagenbereich. Rev.-Nr. 2 – Chemnitz, 2004

/SOFT/ **SoftGuide GmbH & Co. KG**: Aktuelle Marktübersicht – Software für Simulation. URL: <http://www.softguide.de/software/simulation.htm>, Verfügbar am: 13. August 2007

/RADÜ-07/ **SITEC Industrietechnologie GmbH**: Konsultation Radünz, Ulrich – Leiter der Abteilung Montage- und Prüfanlagen.
Chemnitz, April 2007

/VDI3633/ **VDI-Richtlinie VDI 3633**. Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Begriffsdefinition

/VDI36633-3/ **VDI-Richtlinie VDI 3633 Teil 3**. Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Experimentplanung und -auswertung

/VRES/ **März, Lothar**: Materialflussplanung und Anlagenkonzeption mit Simulation und Optimierung – Effiziente Technologien im Planungsprozess oder Zeitverschwendung? – Vortrag zum Dualis Anwenderforum. – Dresden: V-Research GmbH, 26. April 2007

/WIK1/ **unbekannter Autor**: Simulation. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Simulation#Typen_und_Bereiche_von_Simulationen>,

Verfügbar am: 13. August 2007

/WIK2/ **unbekannter Autor**: Festigkeitsberechnung. URL:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Festigkeitsberechnung>,
Verfügbar am: 13. August 2007

Nebel, Nico

„Ablaufsimulation von komplexen Montageprozessen in modularen Montagesystemen“

DIPLOMARBEIT

–Anlagenband –

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Maschinenbau / Feinwerktechnik

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Verfahrensanweisung für die Angebotsbearbeitung von Anlagen……... A 1

Anlage 2: Verfahrensanweisung für den Projektablauf von Maschinen und Anlagen…... A 11

Anlage 3: Verfahrensanweisung für die Auftragsänderung im Anlagenbereich…….A 18

Anlage 4: Kurzbeschreibung der untersuchten Simulationsprogramme……. A 21

Anlage 5: Ergebnisse der Kriteriengewichtung……..A 47

Anlage 6: Vollständig ausgefüllte Nutzwertanalyse …….. A 55

Anlage 7: Beschreibung der Referenzanlage…….. A 59

Anlage 8: Modellierung der Referenzanlage mit weiteren Simulationsprogrammen……. A 68

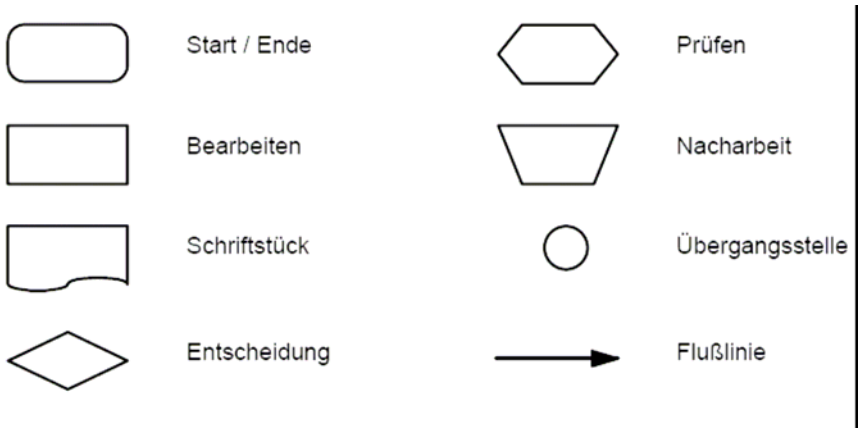
Anlage 1: Verfahrensanweisung für die Angebotsbearbeitung von Anlagen

Legende Kennzeichnung Methodik:

Einsatz von Simulation mit technischem Hintergrund (Validierung Anlagenkonzepte)

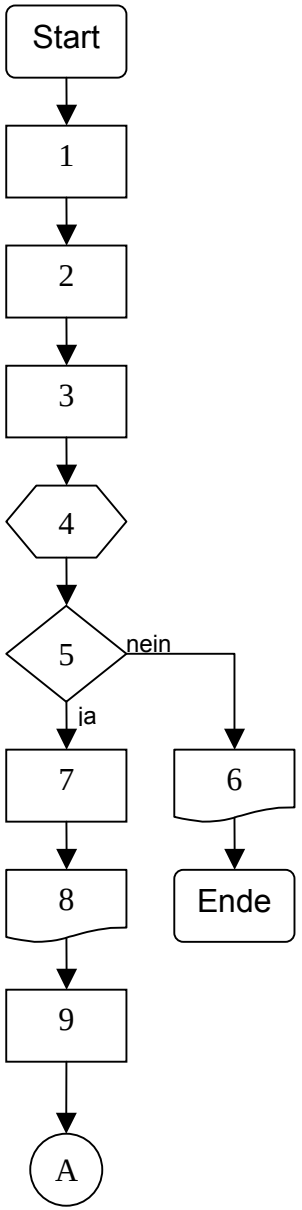
Einsatz von Simulation mit kommunikativem Hintergrund (Präsentation, Kundenüberzeugung)

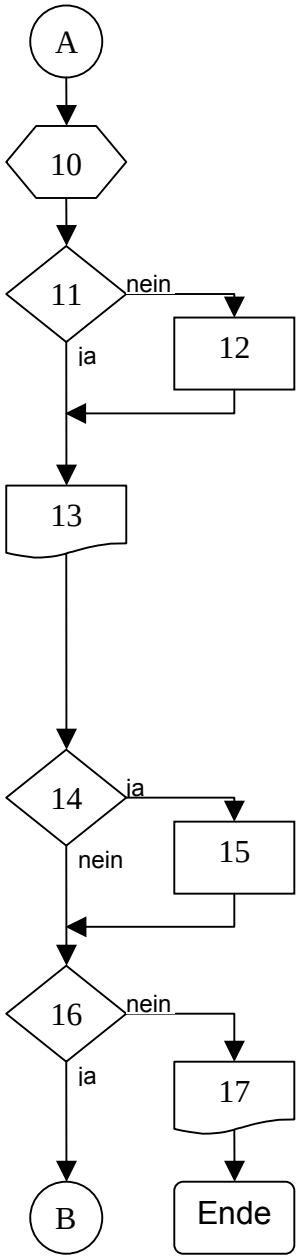
Legende Ablaufdiagramm:

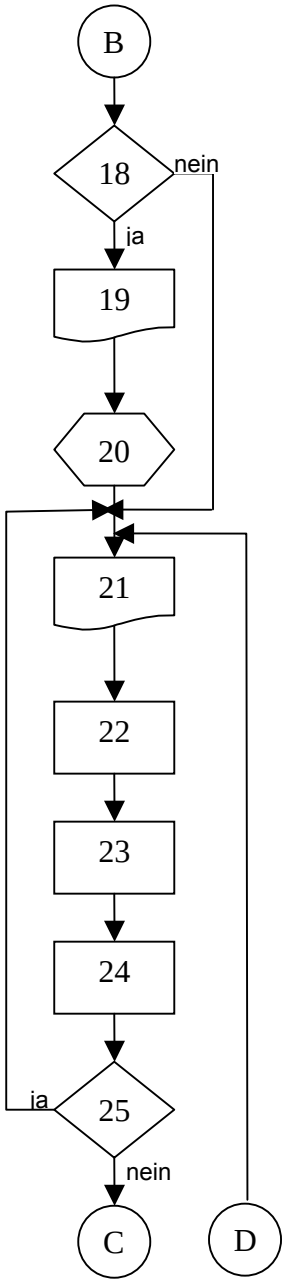


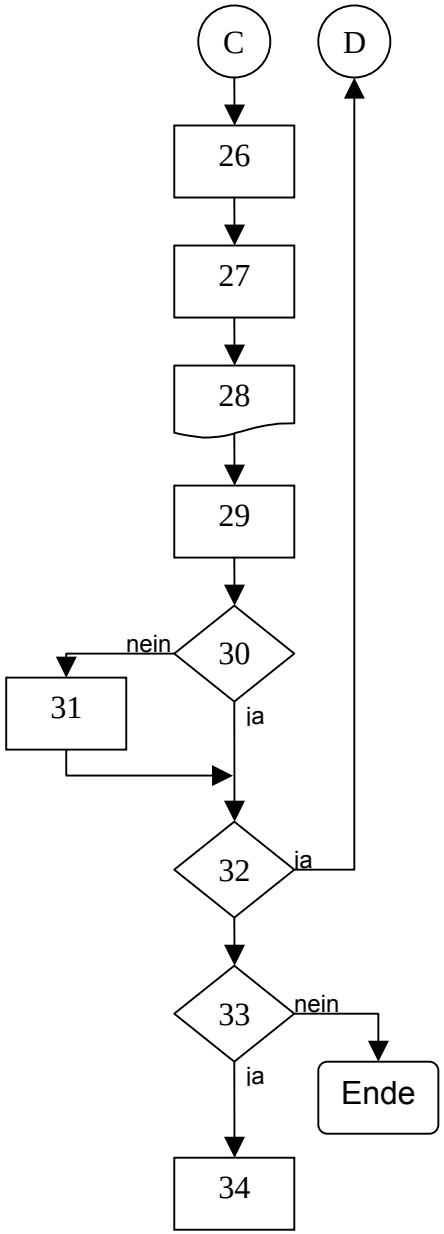
Abkürzungsverzeichnis:

AB: Angebotsbearbeiter
Z: Zuständig
GF: Geschäftsführung
BG: Büro der Geschäftsführung
A: Akquisiteur (GF + jeder Mitarbeiter)
KB: Kaufmännischer Bereich
UAN: Unterauftragnehmer
E: Einkauf
PL: Projektleiter
V: Vertrieb/Systemtechnologie
P: Planung/Entwicklung
AG: Auftraggeber
KA: Konzeptausschuss

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
1. Anfrageneingang: - Brief - Notiz - Fax - Akquisitionsbericht	BG A V P		
2. Weiterleitung an V	BG A P		
3. Eintragen in Erfassungsdatei	V		
4. Prüfen der Anfrage, ob ein Angebot erarbeitet wird	V P		
5. Wird Angebot erarbeitet?			
6. Information an Anfragenden	V		
7. Festlegung des Angebots-bearbeiters und Beauftragung mit weiterer Bearbeitung	P		
8. Eintragen in Erfassungsdatei	V		
9. Einholen der Angebotsnummer	AB		

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
10. Analyse der Anfrage auf ausreichende Informationen	AB		
11. Vom Kunden ausreichende Informationen vorhanden?	AB		
12. Ergänzung der Informationen mit Anfragendem	AB		
13. Erarbeitung eines technischen Lösungskonzeptes und des Leistungsumfanges	AB V K P	- statische Betrachtung des Ablaufs - Taktzeitberechnung ohne Berücksichtigung von Streuungen der Zeiten - Ermittlung anlagenspezifischer Kennzahlen mit Hilfe von Erfahrungswerten - Kennzahlen der Anlage können teilweise nur abgeschätzt werden - Keine fundierte Validierung des Konzeptes möglich	- Taktzeitermittlung unter Berücksichtigung der Verteilungszeitmodelle - Dynamisches Betrachten des Teileflusses (Pufferdimensionierung möglich) - Ermittlung der Anlagenverfügbarkeit durch Simulation von Störungen - Ermittlung der Kennzahlen einer Anlage aufgrund von Simulationsläufen - Durchführung eines gesicherten Variantenvergleichs - Fundierte Validierung des Konzeptes wird möglich
14. Einberufung des KA notwendig?	V		
15. Beratung des techn. Lösungskonzeptes im KA	V	- Diskussionsgrundlage ist das erarbeitete Lösungskonzept - Unterstützung der Beratung durch: o 3D Volumenmodelle o 2D CAD-Zeichnungen o verbale Funktionsbeschreibung in Textform o Ablaufdiagramme	- Diskussionsgrundlage ist erarbeitetes Lösungskonzept und vorhandenes Simulationsmodell - Unterstützung der Beratung durch: o animierte Simulationsmodelle o statistische Auswertungen der Simulationsläufe o aufbereitete Diagramme der Simulationsläufe o 3D Volumenmodelle o 2D CAD Zeichnungen o verbale Funktionsbeschreibung in Textform o Ablaufdiagramme
16. Aufgabe realisierbar?	AB		
17. Absage an Kunden	V		

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
18. Unterauftragnehmer und / oder Kaufteile notwendig?	AB		
19. Auswahl von UAN bzw. Lieferanten, Angebotseinholung für Preis und Komponenten bestimmende Bauteile bzw. Baugruppen	AB		
20. Prüfen der Angebote und Auswahl der geeigneten UAN / Lieferanten	AB		
21. Erarbeiten des Angebotes nach Musterangebot einschließlich Kalkulation	AB		
22. Information an V über Fertig-stellung des Angebots	AB		
23. Einberufung KA	V		
24. Verteidigung Angebot vor KA	AB		
25. Korrekturen notwendig?	V P		

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
26. Unterschrift GF einholen	AB		
27. Übergabe des Angebotes an Anfragenden	AB	- Persönliche Konsultation - Übergabe der Dokumente: o Angebot o CAD-Entwürfe o Verbale Funktionsbeschreibung o Ablaufdiagramme	- Persönliche Konsultation - Vorführung der Anlage in Form einer animierten Simulation (eventuell 3D, fotorealistische Darstellung) - Besseres Verständnis beim Kunden durch Vorlage eines „greifbaren“ Anlagenmodells - Überzeugendere Argumentation durch gesicherte Simulationsergebnisse möglich - Übergabe der Dokumente o Angebot o CAD-Entwürfe o Verbale Funktionsbeschreibung o Ablaufdiagramme
28. Ablage des Angebotes - 1x Zentrale Ablage - 1x Angebotsbearbeiter - Deckblatt/Preisblatt	KB AB V		
29. Angebotsverfolgung	AB V		
30. Alle Belange geklärt, alle Informationen vorhanden?	AB V		
31. Belange klären mit Auftraggeber			
32. Neues Angebot an Kunden sinnvoll?	AB		
33. Auftrag kommt zustande?			
34. Weiterbearbeitung nach VA 7.2.02			

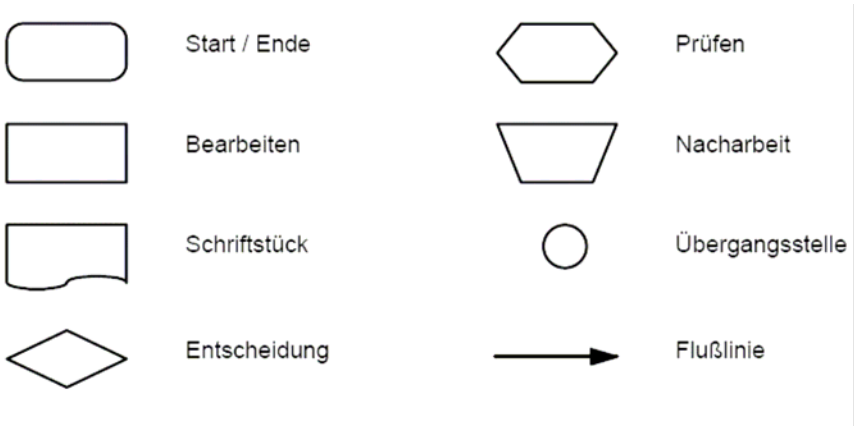
in Anlehnung an /SITE5/

Anlage 2: Verfahrensanweisung für den Projektablauf von Maschinen und Anlagen

Legende Kennzeichnung Methodik:

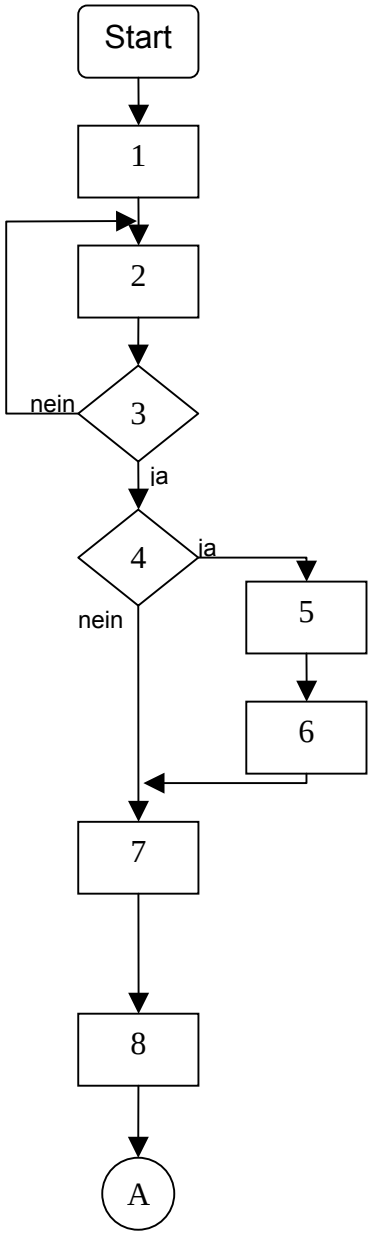
Einsatz von Simulation mit technischem Hintergrund (Validierung Anlagenkonzepte)

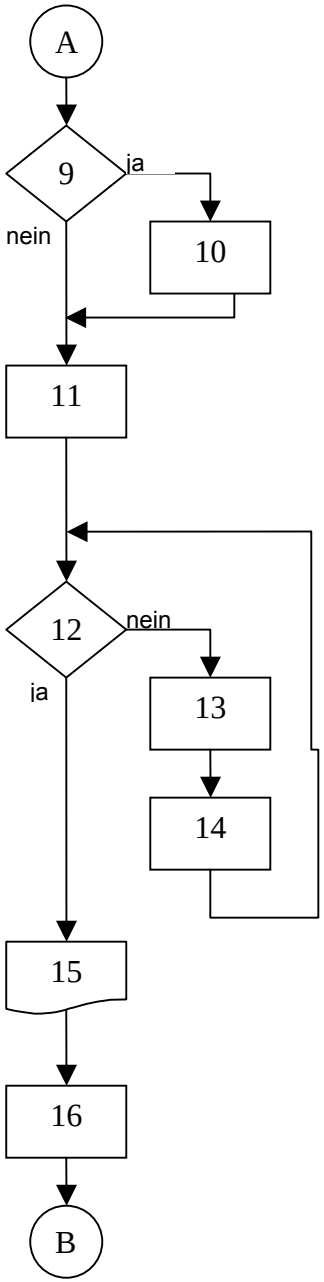
Einsatz von Simulation mit kommunikativem Hintergrund (Präsentation, Kundenüberzeugung)

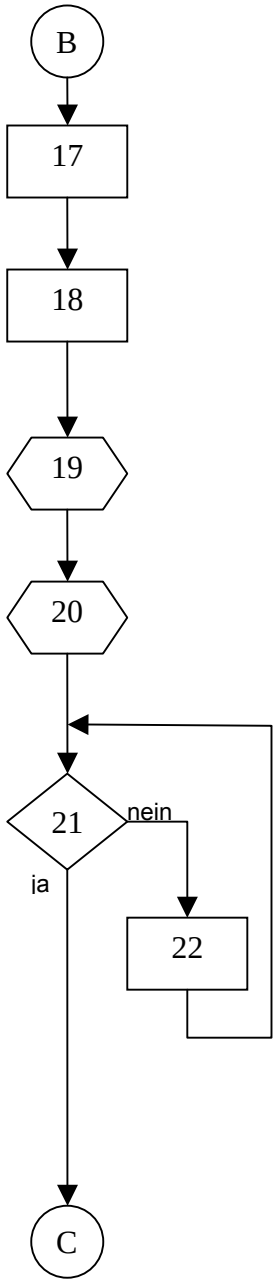


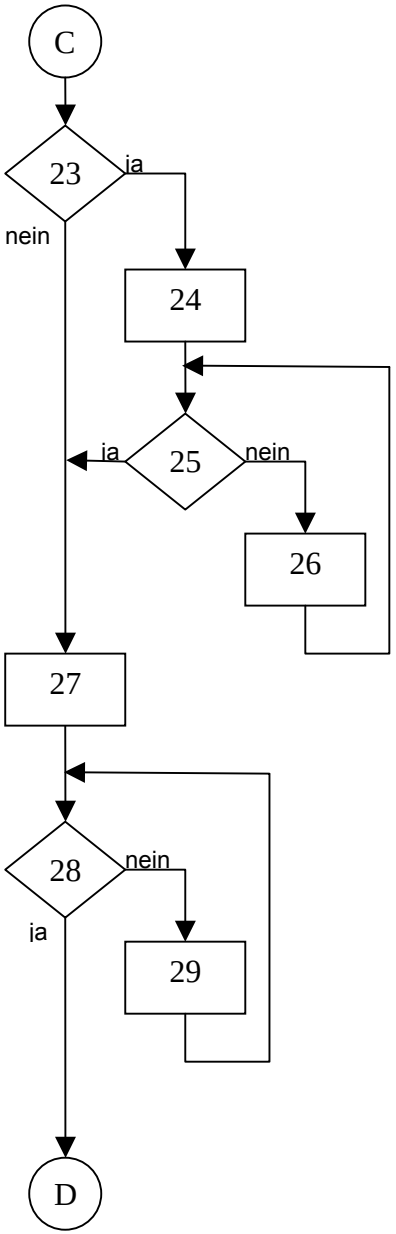
Abkürzungsverzeichnis:

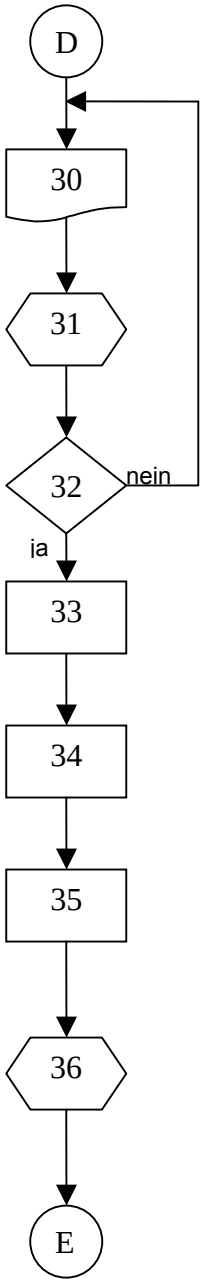
Z:	Zuständig
GF:	Geschäftsführung
Z:	Zustimmung
L:	zuständiger Leiter
PL:	Projektleiter
Ko:	Konstrukteur
AG:	Auftraggeber
AN:	Auftragnehmer
UAN:	Unterauftragnehmer (intern und extern)
KB:	kaufmännischer Bereich
PK:	Projektkonstrukteur
PED:	Verantwortlicher Dokumentation
QS:	Qualitätssicherung
M:	Leiter Montage
LM:	Leitmonteur
Mo:	Monteur

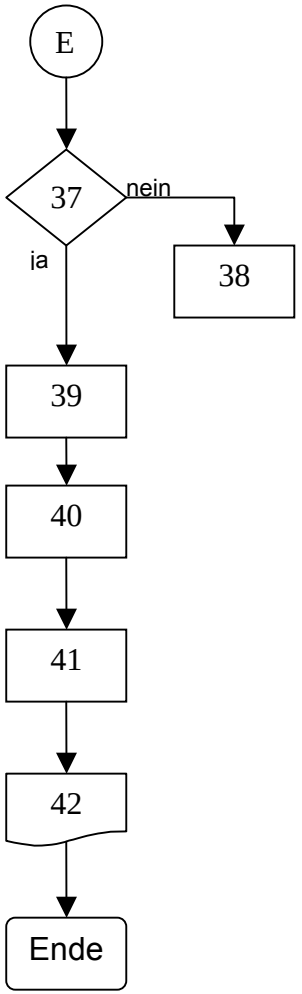
Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
1. • Anlegen eines Projektordners nach Dokumentationsrichtlinie • Anlegen Projektpfad und Speichern der Projektunterlagen • Erstellen Projektkalkulation • Anlegen Projekt in Pro α einschließlich Erarbeitung Projektplan	PL		
2. Auftaktberatung: • Personeller Besetzung ausfüllen • Kalkulation (bei Bedarf neue Kalkulation)	L		
3. Sind Projektablaufplan und Kalkulation in Ordnung?	P/E		
4. Vergabe von Unteraufträgen nötig?	PL		
5. Auswahl der externen UAN			
6. Übergabe der schriftl. Aufgabenstellung und der Konstruktionsrichtlinie (bei Bedarf) an UAN	PL	- Konstruktion auf Grundlage des Lösungskonzeptes - Herausbilden gesicherter Kennwerte durch Produktspezifikation - Wirkung der gesicherten Kennwerte auf Prozessabläufe nur grob abschätzbar - Vergleich verschiedener Kaufteile hinsichtlich der Auswirkung auf Gesamtprozess relativ unscharf	- Konstruktion auf Grundlage des Lösungskonzeptes und des Simulationsmodells - Präzisierung des vorhandenen Simulationsmodells - Simulationsexperimente am detaillierten Simulationsmodell führen zu gesicherten Prozessinformationen und fundiertem Vergleich der Auswirkung verschiedener Kaufteile
7. Durchführen der Konstruktion	PK UAN		
8. Projektbesprechungen zwischen AG und PL Dokumentation von Präzisierungen und Ergänzungen	PL	- Unterstützung der Besprechung und Dokumentation durch: o 3D-Volumenmodelle o 2D-CAD-Zeichnungen o Ablaufdiagramme o Verbale Funktionsbeschreibung	- Unterstützung der Besprechung und Dokumentation durch: o animierte Simulationsmodelle o statistische Auswertungen von Simulationsläufen o 2D-CAD-Zeichnungen o 3D-Volumenmodelle o Ablaufdiagramme o Verbale Funktionsbeschreibung

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
9. Hat der AG Änderungswünsche?	PL		
10. Weiterbearbeitung nach VA 7.2.03	PL	- Siehe Anlage 3	- Siehe Anlage 3
11. Regelmäßige Projektbesprechungen mit internen und externen UAN zu - Funktionen - Änderungen - Schnittstellen - Ergänzungen - Terminen Dokumentation von Präzisierungen und Ergänzungen, Regelmäßige Aktual. in Pro α	PL PK	- Siehe Ablaufpunkt 8	- Siehe Ablaufpunkt 8
12. Wird der Projektplan eingehalten?	PL		
13. Information an L	PL		
14. Festlegung von Maßnahmen gemeinsam mit PL, bei Bedarf unter Einbeziehung der GF	L		
15. Übergabe der Bedarfsanforderung mit Zeichnungen, Bereitstellungsterminen und allen notwendigen Unterlagen an den Einkauf, Übergabe Zeichnungen, Stücklisten an die Montage	PL		
16. Weiterbearbeitung der Beschaffung nach VA 7.4.01			

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
17. Durchführen Montage nach Ablaufplan 3.3 „Montage“	PL		
18. Durchführen regelmäßiger interner Rapporte und Abstimmungen mit dem Kunden, mit Festlegung von Maßnahmen	L		
19. Vom Kunden gelieferte Probeteile prüfen	PL		
20. Interne Vorabnahme	PL		
21. Anlage zur Kundenvorabnahme bereit?	PL		
22. Einleitung von Maßnahmen	PL	- Gedankliches Durchspielen von verschiedenen Maßnahmen - Durchführen von erfolgsversprechenden Maßnahmen an der realen Anlage (Parameteränderung, andere Bauteile) - Änderungseffekte werden erst nach Durchführung der realen Experimente sichtbar - Rückschlüsse aus Ergebnisse der Experimente ziehen	- Durchspielen verschiedener Maßnahmen am Simulationsmodell - Änderungseffekte werden sofort im Simulationslauf sichtbar (Parameteränderung, andere Modellbausteine) - Verschiedene Maßnahmen werden kostengünstiger und schneller verglichen - Rückschlüsse aus Ergebnisse der Simulationsexperimente ziehen - Umsetzen der besten Variante an der realen Anlage

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
23. Leistungstest erforderlich?	PL		
24. Durchführen Leistungstest	PL		
25. Leistungstest bestanden?	PL		
26. Einleitung von Maßnahmen	PL	- Siehe Ablaufpunkt 22	- Siehe Ablaufpunkt 22
27. Kundenvorabnahme	PL		
28. Anlage i. O.?	PL		
29. Einleitung von Maßnahmen	PL	- Siehe Ablaufpunkt 22	- Siehe Ablaufpunkt 22

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
30. Zusammenstellung der techn. Dokumentation nach Dokumentationsrichtlinie	PED		
31. Prüfen der techn. Dokumentation	PL		
32. Dokumentation i. O.?	PL		
33. Dokumentation mit Lieferschein an Kunden schicken	PED		
34. Durchführen Versand der Anlage	PL		
35. Inbetriebnahme beim AG	PL		
36. Endabnahme beim AG - Erstellung Abnahmeprotokoll - Kopie Abnahmeprotokoll an F	PL		

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
37. Alle Forderungen des AG erfüllt?	PL		
38. Einleitung von Maßnahmen	PL		
39. Überarbeitung der techn. Dokumentation, Übergabe an PED	PL PK		
40. Ergänzung der techn. Dokumentation nach Dokumentationsrichtlinie, Ergänzungen mit Lieferschein an Kunden schicken	PED		
41. Erstellung Projektabschlussprotokoll, Veranlassung der Rechnungslegung	PL		
42. Rechnungslegung	KB		

in Anlehnung an /SITE6/

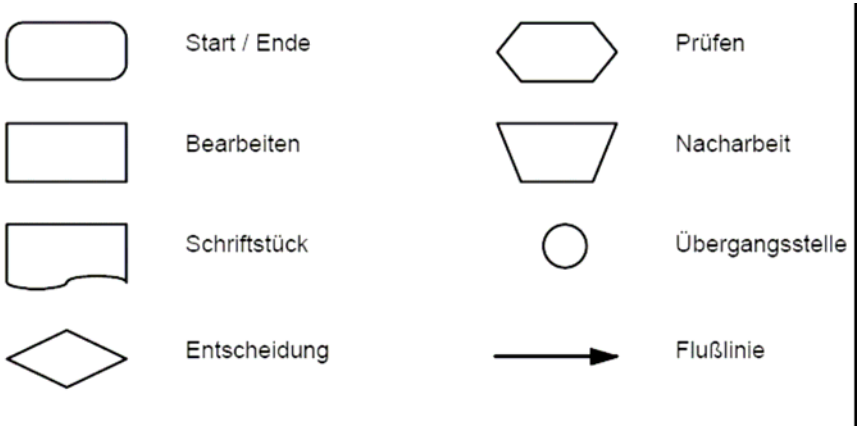
Anlage 3: Verfahrensanweisung für die Auftragsänderung im Anlagenbereich

Legende Farbkennzeichnung Methodik:

Einsatz von Simulation mit technischem Hintergrund (Validierung Anlagenkonzepte)

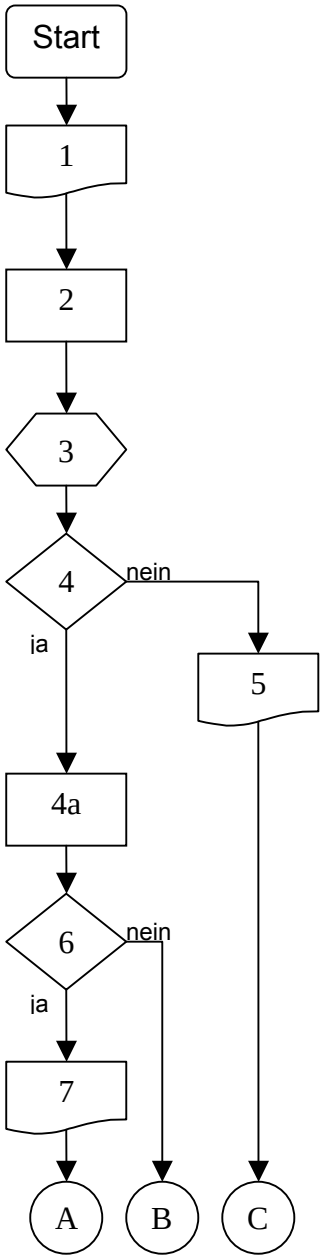
Einsatz von Simulation mit kommunikativem Hintergrund (Präsentation, Kundenüberzeugung)

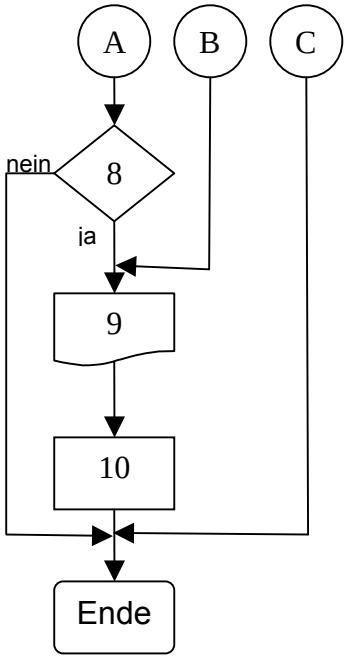
Legende Ablaufdiagramm:



Abkürzungsverzeichnis:

PL: Projektleiter
K: Konstrukteur

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
1. Eingang des Änderungswunsches des Kunden bei PL			
2. Information an zuständigen Leiter	PL		
3. Analyse des Bearbeitungsstandes	PL		
4. Änderung realisierbar?	PL	- Auswirkungen, die durch Änderung der Anlage entstehen können nur abgeschätzt werden - geringere Entscheidungssicherheit	- Auswirkungen, die durch Änderung der Anlage entstehen können durch Simulation auf sichere Datenbasis gestellt werden - höhere Entscheidungssicherheit durch fundierte Simulationsergebnisse - Aufzeigen der Auswirkungen mit Hilfe der verschiedenen Simulationsläufe möglich
5. Absage an den Kunden	PL		
4a. Umsetzung der Änderung	P K		
6. Änderung hat kostenmäßige und / oder terminliche Auswirkungen?	PL		
7. Kostenkalkulation (bei kostenmäßigen Auswirkungen, Information des Kunden über zusätzliche Aufwendungen und/oder Terminänderung)	PL		

Ablaufdiagramm und Beschreibung	Z	Methodik Istzustand (ohne Simulation)	Methodik Sollzustand (mit Simulation)
			
8. Kunde hält Änderungswunsch aufrecht? (schriftliche Bestätigung)	PL		
9. Schriftliche Bestätigung der Änderung an den Kunden	PL		
10. Einleitung der notwendigen Maßnahmen zur Realisierung der Änderung	PL		

Anlage 4: Kurzbeschreibung der untersuchten Simulationsprogramme

Programmname:	Witness
Version:	2006
Hersteller:	Lanner Group GmbH
Vertrieb in Deutschland:	Lanner Simulation Technology GmbH Schiessstraße 35 40549 Düsseldorf
Website:	www.lanner.com

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellbildung erfolgt relativ schnell. Es wird eine Bibliothek an Standardelementen mitgeliefert, sie decken die einfachen und meist genutzten Funktionen der allgemeinen Modellbildung ab. Für spezielle Situationen ist es möglich, sich spezielle „Designerelemente“ anzulegen und als Bibliotheksbaustein abzuspeichern. Durch das Kreieren von sogenannten Modulen, ist es möglich eine hierarchische Struktur in das Simulationsmodell einzubringen. Dabei werden mehrere Elemente zu einem Modul zusammengefasst, diese Module können wiederum zu einem übergeordneten Modul zusammengefasst werden, usw. Ein Modul besitzt einen Ausgang und einen Eingang zum restlichen Modell, die Kommunikation im Modul erfolgt über die jeweiligen Elemente. Die Parametrierung der einzelnen Elemente erfolgt weitestgehend über Dialogfenster, wobei wiederum bei komplexen Zusammenhängen die Einbindung von Programmtexten unumgänglich ist.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Das Arbeiten mit dem Programm Witness ist einfach zu erlernen. Die Menü- und Symbolleisten sind logisch angeordnet und durch aussagekräftige Symbole intuitiv zu bedienen. Kleinere Schwierigkeiten gibt es beim Anordnen der Elemente im Layout-Fenster, wenn andere Dialogfenster geöffnet sind. Die gesamte Benutzeroberfläche ist deutsch, genau wie die Hilfefunktion. Die Hilfefunktion lässt sich zudem inhaltssensitiv aufrufen, das heißt, sie wird dem aktuellen Fenster oder Befehl angepasst. Leider wird kein Tutorial angeboten, dies erschwert die Einarbeitung in die Funktionsweise des Programms. Es können mehrere Fenster gleichzeitig geöffnet sein und beliebig angeordnet werden. Die Symbole sind aussagekräftig und lassen die dahinter liegende Funktion erkennen. Alle Eingabemasken behalten ihren letzten Wert beim erneuten Aufrufen.

3. Berechnung & Auswertung

Positiv aufgefallen an Witness ist die standardmäßig mitgelieferte Experimentierverwaltung, dies ist nur bei den wenigsten Programmen der Fall. Die üblichen Systemzustände sind ohne Programmierung abfragbar und auswertbar. Es können die meisten Diagrammarten auch live in die Animation eingebunden werden. Benutzerdefinierte Auswertung erfolgt mit Hilfe von Befehlen über eine Eingabemaske. Der Simulationszeitfaktor kann stufenlos verstellt werden, es ist auch möglich, die Simulation ohne Animation sehr schnell durchlaufen zu lassen. Die 2D Animation ist zufrieden stellend, leider konnte die 3D Animation nicht getestet werden, da sie nicht Bestandteil der Studentenversion ist.

4. Schnittstellen

Der Import von CAD-Datein im *.dxf Format ist problemlos. Es können sogar die einzelnen Elemente der Zeichnung im Layoutfenster modifiziert werden. Das Darstellen von eigenen 3D Elementen in VR Umgebung ist nur durch die Hilfe von Lanner möglich. Weitere Schnittstellen bestehen zu Datenbanken und Microsoft Excel Tabellen. Als erheblicher Vorzug erweist sich der Export in das gängige Videoformat *.avi. Dabei wird einfach ein Ausschnitt des Bildschirmes definiert sowie die Anzahl der Bilder pro Sekunde. Danach wird die Simulation mit Animation aufgezeichnet und steht unmittelbar als Videodatei für z.B. Marketingzwecke oder Kundenvorführungen zur Verfügung.

5. Kosten

Die Preise für die Simulationssoftware Witness befinden sich im Mittelfeld der verfügbaren Programme. Die Einzellizenz für Witness-Fertigung kostet 18.000 € zzgl. 3000 € /a für Wartung und Updates. Das Programm ist modular aufgebaut, d. h. es können weitere Module zugekauft werden. Die Preise für diese Module liegen zwischen 1.500 € und 7.500 € pro Lizenz zzgl. Wartungsgebühr. Die Kosten für Hardware und Betriebssystem sind unerheblich, das Programm läuft auf einem gängigen PC (CPU[13]: Intel-Pentium IV, 2.4GHz, 1GB RAM) problemlos. Ein gängiges Windows Betriebssystem ist ausreichend. Die Kosten für eine Schulung liegen mit 2500 € pro Mitarbeiter für eine 5 Tage Grundschulung im preislichen Mittelfeld.

[13] engl. Central Processing Unit

6. Sonstiges

Lanner hat mit verschiedenen namhaften Firmen im Automotive Bereich gute Referenzen. Das Programm wird ständig weiterentwickelt und um neue Funktionen ergänzt. Es ist möglich, das Programm durch Demo- oder Studentenversionen ausgiebig und ohne Zeitlimit mit gewissen Einschränkungen der Modellgröße zu testen. Das Programm verfügt leider über keinen kostenlosen Viewer, um die Modelldateien den Kunden ohne Softwarelizenz zur Verfügung stellen zu können.

7. Zusammenfassung:

Witness bietet den grundlegenden Funktionsumfang für die Zwecke der Montage- und Anlagenplanung. Als große Vorteile erweisen sich die relativ einfache Modellierung und Bedienung, sowie das Experimentiermodul und die hierarchische Gestaltungsmöglichkeit der Simulationsmodelle. Die Anpassbarkeit der Benutzeroberfläche durch Gestaltung eigener Dialogfenster ist ebenfalls nur in wenigen Programmen verfügbar und sehr hilfreich. Das Programm ist sehr offen gestaltet, sodass viele Bereiche der Simulation abgedeckt werden können, es ist nicht nur speziell für die Anlagenplanung entwickelt worden. Im Rahmen der Grobauswahl konnten keine gravierenden Nachteile des Programms für die Einsatzgebiete in der SITEC GmbH festgestellt werden.

Programmname:	SpeedSIM
Version:	1.6.8.0 (2005)
Hersteller:	Dualis GmbH
Vertrieb in Deutschland:	Dualis GmbH IT Solution Tiergartenstraße 32 01219 Dresden
Website:	www.dualis-it.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellbildung besitzt hybriden Charakter. Einerseits kann das Layout über die Programmoberfläche gestaltet werden, andererseits sind die relevanten Prozessdaten über eine Excel-Tabelle einzugeben. Das Modell als ist auch nur vollständig definiert, wenn beide Dateien dem Simulationsprogramm vorliegen. Es werden in der Testversion keine konkreten Bausteine für die Montage mitgeliefert und es ist auch nicht möglich eigene Bausteine zu konstruieren. Eine hierarchische Strukturierung des Simulationsmodells ist ebenfalls nicht möglich. Das Modell unterliegt, hinsichtlich Anzahl an Elementen und Dimensionen, keinen Restriktionen.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Die Bedienung des Programms ist sehr einfach. Durch die flache Menüstruktur und die geringe Anzahl an Dialogfenstern ist die Einarbeitungszeit in das Programm gering. Die Benutzeroberfläche ist komplett in Deutsch, lediglich die Bezeichnungen der Spaltennamen in der Excel-Tabelle sind Englisch. Die mitgelieferte Benutzerdokumentation ist verständlich, jedoch etwas knapp (20 Seiten). Beispielmodelle mit entsprechenden Beschreibungen sind ebenfalls vorhanden. Die Eingabemasken speichern die zuletzt eingegeben Werte ab. Eine inhaltssensitive Hilfe ist nicht vorhanden.

3. Berechnung & Auswertung

Ein großer Vorteil von SpeedSim ist, wie im Namen schon gedeutet, das Simulationszeitverhältnis. Durch das Abschalten von Animation wird die Simulation sehr schnell durchgeführt und Ergebnisse liegen schnell vor. Leider sind nicht alle Modelle statistisch auswertbar, und es ist auch nicht möglich, die Auswertungen in irgendeiner Art und Weise selbst anzupassen. Die Ergebnisdarstellungsformen beschränken sich auf einfache Linien- und Balkendiagramme. Eine Experimentierverwaltung ist nicht vorhanden. Die Simulation kann online 2D-animiert dargestellt werden. Eine Möglichkeit die Animation in drei Dimensionen darzustellen ist nicht gegeben.

4. Schnittstellen

SpeedSim arbeitet sehr eng mit MS-Excel zusammen, jedoch nur mit einer fest definierten Tabellenform. Eine Datenbankanbindung ist nicht vorhanden, könnte jedoch über Excel als Zwischenstation realisierbar werden. Ein Import von CAD-Dateien, beispielsweise als Grundriss, ist nicht möglich. Ein Export der Animationen in ein gängiges Videoformat ist auch nicht vorhanden.

5. Kosten

Die Kosten für Hardware und Software sind vernachlässigbar, da SpeedSim nur geringste Anforderungen an die Hardware besitzt und mit dem gängigen Windows Betriebssystem funktioniert.

Die Lizenzkosten für die Anschaffung des Programms sind mit 3.000 € die Günstigsten im gesamten Vergleich. Doch leider sind die Wartungskosten mit 5.700 € / Jahr mit Abstand die Höchsten im Vergleich. Die Kosten für 2 Tage Schulung liegen mit 1.760 € pro Mitarbeiter im Mittelfeld.

6. Sonstiges

Die Marktverbreitung des Produktes ist, in Bezug Simulationsprogramme größerer Hersteller, vergleichsweise gering. Die zur Verfügung gestellte Demoversion enthielt alle Funktionen und ist auf einem Testzeitraum von 2 Wochen beschränkt. Der Support ist über Telefon, E-Mail und durch die räumliche Nähe auch persönlich gegeben. Anpassungswünsche sind durch die Dualis GmbH realisierbar. Ein kostenfreier Viewer für erstellte Simulationsmodelle ist nicht vorhanden.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Die vorliegende Demoversion taugt nicht zur vollständigen Programmbewertung. Da das Simulationsprogramm auf jeden Kunden individuell abgestimmt wird, existiert im Grunde nur ein Programmgerippe auf denen die einzelnen Ausführungen beruhen. Alle relevanten Modellbausteine müssen in Zusammenarbeit mit der Dualis GmbH erstellt werden, da eigene Bausteindefinitionen nicht möglich sind. Weiterhin müssen die Funktionalität, die Dialogfenster und die Auswerteoptionen speziell an die SITEC GmbH angepasst werden. Als vorteilhaft erweist sich hierbei die geringe Entfernung zwischen beiden Seiten. Der Vorteil in dieser Lösung ist, dass eine nur geringe Einarbeitungszeit in das Programm notwendig ist und die

Modellerstellung mit speziellen Bausteinen schnell erfolgen kann. Allerdings ist die SITEC GmbH in einem hohen Maß von der Dualis GmbH abhängig. Jeder neuer Modellbaustein verursacht zusätzliche Kosten.

Programmname:	3D-Create (Visual Components)
Version:	3.1.3 (2005)
Hersteller:	Visual Components
Vertrieb in Deutschland:	Dualis GmbH IT Solution Tiergartenstraße 32 01219 Dresden
Website:	www.dualis-it.de, www.visualcomponents.com

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Eine Besonderheit von 3D-Create ist die besonders schnelle Modellierung mit vorhandenen Bausteinen. Sobald die Bausteine vollständig definiert in der Bausteinbibliothek abgelegt sind, können sie per Drag-and-drop miteinander im Layoutfenster verbunden werden. Es müssen keine zusätzlichen Einstellungen vorgenommen werden, dank des Plug & play - Verfahrens besteht sofort eine Verbindung des Material- und Informationsflusses. Allerdings erfordert dies im Voraus eine exakte und umfangreiche Definition der einzelnen Bausteine. Das Plug & play - Verfahren kann nur funktionieren, wenn alle sinnvollen Kombinationen von Bausteinen untereinander und den dazugehörigen beweglichen Teilen vorher definiert wurde. Dies bedeutet einen Mehraufwand an Zeit zur Bausteinmodellierung und eine Zeiteinsparung zur Systemmodellierung. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit Parameter für jeden Baustein festzulegen. Dies erleichtert das Experimentieren mit dem Modell, da nun variable Bausteineigenschaften übersichtlich dargestellt werden und schneller abänderbar sind. Nachteilig ist die frühe Einbindung der Programmiersprache, einfache Sachverhalte sind nicht durch Dialogfenster zu bewältigen, sondern erfordern immer den Einsatz von „Phyton Script“. Daher war es auch nicht möglich ohne Schulung ein einfaches Referenzmodell zu erstellen. Ein vorhandenes Modell lässt sich sehr gut hierarchisch strukturieren.

2. Bedienung & Benutzerführung

Das Programmfenster ist übersichtlich angeordnet und lässt sich intuitiv bedienen. Der größte Teil der Benutzeroberfläche und der Dialogfenster ist in deutscher Sprache, bei spezielleren Optionen und Dialogen hingegen tritt eine Sprachvermischung mit englischen Begriffen auf. Die Dokumentation ist sehr umfangreich und detailliert. Das mitgelieferte Tutorial ermöglichte eine Einarbeitung in die vorhandenen Programmfunktionen, hingegen wurde die Programmiersprache Phyton Script nur am Rande erwähnt. Alle Hilfedateien und das Tutorial sind komplett in englischer Sprache verfasst. Die vorhandenen Eingabemasken sind funktionell strukturiert und speichern die letzten Eingaben automatisch. Es wird keine inhaltssensitive Hilfe angeboten.

3. Berechnung & Auswertung

Die Auswertemöglichkeiten des Standardpakets von 3D-Create ist auf wenige Auswertemöglichkeiten beschränkt. Weiterführende Statistiken sind im Statistikmodul enthalten, welches zusätzlich erworben werden muss. Eine Simulation ohne Animation ist nicht möglich, es können jedoch die Zeitintervalle für die Aktualisierung der Animation sehr hoch eingestellt werden. Trotzdem erfolgt die Simulation im Vergleich zu den anderen Programmen relativ langsam. Die Ergebnisdarstellungsformen beschränken sich im Standardpaket auf Kreißdiagramme und einer Tabelle. Im Statistik-Add-on ist eine Experimentierverwaltung vorhanden. Die Qualität der Animation und der 3D-Darstellung ist fotorealistisch. Eine Modellierung im zweidimensionalen Raum ist nicht möglich.

4. Schnittstellen

3D-Create besitzt eine Schnittstelle zum Importieren von Volumenmodellen aus SolidWorks. Weitere Schnittstellen zu MS-Excel oder Datenbanken sind nicht vorhanden. Es ist möglich, mit einem weiteren Zusatzmodul hochauflösende Bilder und Videos für Marketingzwecke oder Demonstrationen zu exportieren. Über das eigenständige Programm Polytrans können alle üblichen Dateiformate in das 3D-Create importiert und vereinfacht werden.

5. Kosten

Die Kosten für die Einzelplatzlizenz von 3D-Create beträgt 7.000 € und ist somit sehr preisgünstig. Die Gebühr für Wartung und Service beträgt pro Jahr 1.500 € und beinhaltet Support und Updates. Für einen erweiterten Funktionsumfang müssen Zusatzmodule gekauft werden, sie kosten zwischen 1.250 € und 1.850 € in der Anschaffung und in der Wartung 20% der Lizenzkosten pro Jahr. Ein Schulungstag kostet pro Person 1000 € bei der Dualis GmbH in Dresden oder vor Ort.

6. Sonstiges

Support per Telefon, E-Mail und persönlich erfolgt über den deutschen Vertriebspartner, der Dualis GmbH. Vorteilhaft bei der Produktsuite von Visual Components ist der kostenlose Viewer 3D-Video, mit dem Kunden selbstständig die erstellten Modelle simulieren und anschauen können. Eine 30 Tage Demoversion ohne Funktionseinschränkung ist verfügbar.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Die gesamte Produktsuite von Visual Components mit den Programmteilen 3D-Create, 3D-Realize und 3D-Video ist für die Anlagensimulation gut geeignet. Ein Schwerpunkt ist die fotorealistische Darstellung der Anlagen im 3D Raum. Die Philosophie beim Modellieren ist, erst die Bausteine detailliert zu erstellen, um später die Konfigurationen der Anlage schnell modellieren zu können. Die im Standardpaket angebotenen Statistiken zur Auswertung der Simulationsläufe sind nur wenig nützlich für die Zwecke der SITEC GmbH.

Programmname:	Simul8 Professional
Version:	2005
Hersteller:	Simul8 Corporation
Vertrieb in Deutschland:	Simplan AG Münchener Straße 13 85540 München
Website:	www.simul8.de, www.simul8.com

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Zur Modellierung stehen fünf Grundelemente zur Verfügung. Zusätzlich können weitere Elemente definiert und als Bausteine in einer Bibliothek abgespeichert werden. Das Simulationsmodell lässt sich hierarchisch strukturieren und wird per Drag-and-drop erstellt. Es gibt keine vorgefertigten Modellbausteine für Montagezwecke. Komplexe Zusammenhänge, werden mittels Visual Logic definiert. Gängige Standardverteilungen zur Modellierung sind im Programm enthalten. Durch Bildung von Subsystemen und Objektgruppen ist eine hierarchische Strukturierung des Simulationsmodells möglich. Es wird ausschließlich in 2 Dimensionen modelliert, simuliert und animiert.

2. Bedienung & Benutzerführung

Laut Produktbeschreibung ist das Programm einfach und leicht zu bedienen. Leider konnte das Programm nicht getestet werden, da keine Demo- oder Studentenversion verfügbar ist. Die Programmoberfläche ist auf allen Abbildungen der Produktbeschreibung englischsprachig. Über Hilfedokumentationen und eventuellen Tutorials können keine Aussagen getroffen werden. Zur Überprüfung eingegebener Programmtexte wird ein Fehlerfindungswerkzeug mitgeliefert. Zur Vereinfachung der Bedienung können eigene Dialogfenster mit Eingabemasken und Buttons selber programmiert werden.

3. Berechnung & Auswertung

Im sogenannten „Information Store“ können die üblichen Daten aus einem Simulationslauf ohne Programmieraufwand dargestellt werden, weiterführende Analysen sind mit Hilfe von Visual Logic möglich. Die Darstellung der Ergebnisse kann während der Simulation live auf der Programmoberfläche abgebildet werden.

4. Schnittstellen

Simul8 Professional kommuniziert über eine COM-Schnittstelle mit anderen Daten, wie z.B. MS-Excel, Datenbanken von MS-Access, VBA, VB und C++. Zusätzlich können verschiedene Datenbanken, z.B. Oracle, Sybase, mittels SQL Schnittstelle importiert werden. Für die Darstellung von Simulationsbausteinen können Abbildungen aus verschiedenen Quellen importiert werden.

5. Kosten

Das Programm Simul8 Professional ist mit 4000 € vergleichsweise günstig. Kosten für Updates, Schulung und Wartung sind nicht bekannt. Zusätzliche Kosten für Hardware und Software sind nicht zu erwarten, da ein gängiges PC-System mit einem Microsoft Windows Betriebssystem ausreicht.

6. Sonstiges

Über weitere Produkteigenschaften kann aufgrund der fehlenden Demoversion keine Auskunft gegeben werden.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Ein wesentlicher Aspekt der Produktbeschreibung lag auf der Einfachheit der Bedienung. Es gibt nur wenige vorbestimmte Elemente zur Modellierung. Die Simulation von Montagevorgängen wurde in der Produktbeschreibung nicht ausschließlich als Anwendungsgebiet für Simul8 definiert. Leider kann dies aufgrund fehlender Demoversionen nicht nachgeprüft werden.

Programmname:	Quest
Version:	D5 R 16 SP6
Hersteller:	Delmia
Vertrieb in Deutschland:	Cenit AG Systemhaus Industriestrasse 52-54 70565 Stuttgart
Website:	www.cenit.de, www.delmia.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellierung erfolgt in einem 3D Orbit mit vordefinierten Standardelementen. Es stehen die grundlegenden Elemente wie Quellen, Senken, Maschinen, Buffer und verschiedene Förderelemente zur Verfügung. Die Modelle werden aus einem Katalog auf die Layoutfläche gezogen und können beliebig im Raum angeordnet werden. Es gibt die Möglichkeit das Simulationsmodell durch den Einsatz von Untermodellen hierarchisch zu strukturieren. Das Anlegen von Parametern oder Makros konnte nicht realisiert werden.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Die Bedienung erfolgt zum größten Teil über verschiedene Dialogfenster. Es können die meisten einfachen Zusammenhänge ohne Programmierarbeiten modelliert werden. Die komplette Benutzeroberfläche, die Hilfe und die Tutorials sind in englischer Sprache verfasst. Eingabemasken speichern die zuletzt eingebenden Werte automatisch. Eine inhaltssensitive Hilfe wird nicht angeboten. Nach softwareergonomischen Gesichtspunkten sind die Benutzeroberfläche und die Strukturierung der Dialogfenster nicht optimal gestaltet. Es müssen viele Fenster geöffnet werden, um einfache Änderungen vorzunehmen.

3. Berechnung & Auswertung

Die Auswertemöglichkeiten beschränken sich ohne Programmierkenntnisse nur auf die wesentlichsten Modelleigenschaften. Sie können in einfacher Balken- oder Kreisdiagrammform oder als Tabellenform angezeigt. Es können Protokolle im HTML-Format erstellt werden. Animationen können während der Simulation nicht abgeschaltet werden. Nur bei Kauf des Zusatzmoduls OptQuest steht dem Benutzer eine Experimentierverwaltung zur Verfügung. Während der Simulation können Animationen und dynamische Ergebnisdarstellungsformen live im Layoutfenster angezeigt werden. Eine 2D Modellierung ist nicht möglich.

4. Schnittstellen

Es besteht die Möglichkeit der Einbindung von Daten aus Excel Tabellen oder Datenbanken. Zudem ist es möglich, CAD-Dateien zu importieren und zu bearbeiten. Diese Funktion allerdings zeigte Schwächen, Drahtmodelle wurden nicht vollständig erkannt und auch die Möglichkeiten der Nachbearbeitung sind sehr begrenzt. Ein Export der Simulation ist in VRML[14] und VRML2 möglich und funktionierte auch problemlos. Der Export in das gängige Videoformat *.avi ist ebenfalls möglich, wurde aber nicht getestet.

5. Kosten

Delmia verlangt für Quest zwei Gebühren. Die einmalige Anschaffungsgebühr (Principal Lic. Charge, kurz PLC) und die jährliche Gebühr für Wartung und Updates (Annual Lic. Charge, kurz ALC). Es müssen beide Gebühren bezahlt werden.

Es werden zwei verschiedene Versionen für Quest angeboten. Die Runtimeversion QuestExpress und die Vollversion Quest. Die Kosten für QuestExpress liegen bei 5.700 € (PLC) und 800 € (ALC). Die Vollversion kostet hingegen 26.000 € (PLC) und 3.460 € (ALC). Damit liegt Quest im oberen Preissegment der angebotenen Simulationsprogramme.

6. Sonstiges

Delmia-Quest arbeitet sehr eng mit anderen Programmen der Delmia Produktgruppe zusammen. Leider verweist Delmia in seinen Produktprospekten nicht auf Referenzen, sodass die Marktpräsenz schlecht abgeschätzt werden kann. Der Support erfolgt über Telefon, E-Mail vom deutschen Vertriebspartner CENIT AG. Es steht kein kostenloser Viewer für in Delmia erstellte Modelle zur Verfügung. Lediglich der Export in eine VRML Datei und die anschließende Betrachtung mit Hilfe eines kostenlosen Add-on für den MS Internet Explorer ist möglich.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Die Arbeit mit Quest ist sehr kryptisch und nicht intuitiv. Auch die Möglichkeit der Modellierung mittels Dialogfenster ist relativ umständlich. Die Darstellungsmöglichkeiten im 3D Orbit und die VRML Darstellung sind gut. Es fehlt an besseren Möglichkeiten zur Auswertung ohne Programmierkenntnisse. Die Preise für Lizenz und Wartung sind für die angebotene Leistung relativ hoch.

[14] engl. Virtual Reality Modeling Language

Programmname:	AutoMod
Version:	11.1
Hersteller:	Brooks Automation, Inc.
Vertrieb in Deutschland:	SimPlan AG Edmund-Seng-Str. 3-5 63477 Maintal
Website:	www.automod.de, www.simplan.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellierung über Drag-and-drop ist mit AutoMod nicht direkt möglich. Es müssen in einem umständlichen Prozess die Modellbausteine definiert und im Layout platziert werden. Die genaue Beschreibung der Bausteine erfolgt über eine Vielzahl von Dialogfenstern. Es gibt für die Montageplanung keine speziellen Bausteine. Die Funktion zum Erstellen von Bausteinen konnte nicht gefunden werden, auch in der mitgelieferten Hilfe war eine solche Funktion nicht erkennbar. Die hierarchische Strukturierung von Modellelementen war nicht gegeben, die Anzahl an Modellelementen ist beliebig und nur in der Studentenversion auf 200 Elemente begrenzt. Das Modellieren erfolgt in drei Dateitypen (Prozesstypen) welche separat geöffnet und bearbeitet werden müssen. Im „Process-System“ werden alle Prozesse definiert. Im „Movement-System“ werden bewegte Teile definiert und im „Static-System“ werden alle statischen Elemente definiert. Dies erschwert die Modellierung unnötig.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche ist nicht mehr zeitgemäß. Die Bedienung des Programms erfolgt über teilweise sehr umständlich zu bedienende Eingabefenster. Ein intuitives Handhaben war bei AutoMod nicht gegeben. Eine inhaltssensitive Hilfe wird dem Benutzer nicht angeboten. Die gesamte Benutzeroberfläche und die Hilfedatei sowie Tutorials sind in englischer Sprache verfasst. Es können mehrere Fenster gleichzeitig geöffnet werden, sie beherrschen alle die Letztwertspeicherung. Insgesamt erscheint das gesamte Bedienkonzept überholt.

3. Berechnung & Auswertung

AutoMod ist das einzige Programm im Test, welches zum Simulieren die Modelle erst kompilieren muss. Dies ist gerade in der Erprobungsphase, in der viele kleinere Änderungen vorgenommen werden sehr langwierig. Die Modelle sind mittels Zusatzmodul AutoStat umfangreich auswertbar. Es können verschiedene Parameter festgelegt und geändert werden. Experimente können definiert und die Auswertungen ausgegeben werden. Kuchen-, Linien-, und

Balkendiagramme gehören zu den Darstellungsformen. Die Simulation wird in drei Dimensionen animiert dargestellt. Die Qualität der 3D-Darstellung ist allerdings mäßig.

4. Schnittstellen

Die Anzahl der Schnittstellen in AutoMod ist auf Wenige begrenzt. Das Importieren von *.cad-Dateien war genauso wenig möglich wie das Importieren von Volumenmodellen aus SolidWorks. Es können aber selbst Drahtmodelle im Programm erzeugt werden. Eine Schnittstelle nach außen stellt das AcitveX Interface dar. Mit dem Zusatzmodul AutoView können Videodateien erzeugt und exportiert werden.

5. Kosten

Die Kosten für eine Basisversion liegt bei 19.800 € plus Wartungsgebühr von 3.550 € im Jahr. Die Basisversion besteht aus dem Programmkern sowie zwei Module. Die anderen Module können für jeweils 6.100 € und 1.100 €/a Wartungsgebühr dazugekauft werden. Bei mehreren Modulen gibt es Rabattstufen. Es wird eine Runtime Lizenz für 2.700€ plus 490 €/a Wartungsgebühr angeboten. Schulungskosten sind nicht bekannt.

6. Sonstiges

Die Demoversion ist gut geeignet, um ein ersten Eindruck von AutoMod zu bekommen. Der Support erfolgt durch die SimPlan GmbH telefonisch, per E-Mail und auch persönlich. Ein kostenloser Viewer ist nicht im Produktumfang enthalten.

7. Zusammenfassung / Fazit

Auffällig bei diesem Programm ist die umständliche Bedienung und Modellierung. Die Benutzeroberfläche ist nicht mehr aktuell. Für einen Simulationslauf mit abgeändertem Simulationsmodell muss dieses immer kompiliert werden. Dies ist auf Dauer sehr zeitintensiv und wirkt sich gerade bei vielen kleineren „was wäre wenn“ Änderungen negativ aus. Positiv sind die umfangreiche Hilfestellung und die Tutorials.

Programmname:	ProPlanner Line Balance
Version:	1.7.0.0 (2006)
Hersteller:	ProPlanner
Vertrieb in Deutschland:	SimPlan AG Münchener Str. 13 85540 München - Haar
Website:	www.pro-planner.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

ProPlanner oder auch ProPlanner Suite ist, wie es der Name schon sagt, eher ein Planungstool als ein Simulationstool. Sie wird als Komplettpaket mit verschiedenen Modulen, unter anderem für Arbeitsplatzgestaltung, Zeitwirtschaft, FMEA und auch die Auslegung von Montageanlagen angeboten. Einige Module sind auch als Stand-Alone Lösung verfügbar.
Für die Dimensionierung der Montageanlagen werden die notwendigen Arbeitsschritte, Reihenfolgen und Ressourcen in das Programm eingegeben. Modellbausteine, die in einem Layout angeordnet werden, gibt es nicht.

2. Bedienung und Benutzerführung

Da leider keine Demoversion des Programms zur Verfügung steht, kann über die Bedienoberfläche sowie Hilfefunktion leider keine Auskunft gegeben werden. Auf Abbildungen wurde die Benutzeroberfläche in englischer Sprache abgebildet.

3. Berechnung & Auswertung

Die Auslegung der Montageanlage kann über zwei Wege erfolgen. Es wird entweder die Taktzeit vorgegeben und das Programm ermittelt die Anzahl notwendiger Arbeitsstationen oder es werden alle Arbeitsstationen vorgegeben und das Programm ermittelt die zu erreichende Taktzeit. Es stehen zur Bewertung unterschiedliche Graphen zur Verfügung, die z.B. die Auslastung (min, max) darstellen. Einzelne Stationen können auch noch detaillierter in einem separaten Fenster ausgewertet werden.

4. Schnittstellen

Das LineBalancing Modul ist komplett in die ProPlanner Suite integriert. Es kann die Daten (z.B. Prozessdaten) aus den anderen Modulen übernehmen und verrechnen. Zu dem ist es möglich, Ergebnisse der Berechnung in Excel zu exportieren und dort weiter aufzubereiten.

5. Kosten

Leider liegen keine Informationen über Lizenzkosten oder Ähnlichem vor.

6. Sonstiges

ProPlanner wird ebenfalls von SimPlan vertrieben. Der Support kann telefonisch, per E-Mail, und über Fax erfolgen. Eine Demoversion war leider, auch nach Anfrage, nicht verfügbar.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Bei der ProPlanner Suite handelt es sich eher um eine Manufacturing-Process-Management-Tool (MPM) Lösung als um ein klassisches Simulationsprogramm. Es können hierbei verschiedenste Aspekte der innerbetrieblichen Planung betrachtet werden, die z.B. auch Wissensmanagement beinhalten. Für die Montageplanung gibt es das LineBalancing Tool, welches auch als Standalone Lösung zur Verfügung steht. Aber auch dies ist kein klassisches Simulationsprogramm, sondern eher ein Projektwerkzeug zur Dimensionierung von Montageanlagen.

Programmname:	Enterprise Dynamics
Version:	7.1 (2006)
Hersteller:	Incontrol Simulation Software B.V.
Vertrieb in Deutschland:	INCONTROL Enterprise Dynamics Gustav-Stresemann-Ring 1 D-65189 Wiesbaden
Website:	www.enterprisedynamics.com

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellierung erfolgt einfach über Drag-and-drop. Es werden aus einer bestehenden Bibliothek sogenannte Atome in das Layoutfenster gezogen und beliebig angeordnet. Es können selbst Atome definiert und hierarchisch strukturiert abgespeichert werden. Bei komplexeren Zusammenhängen wird die 4D Scriptsprache eingesetzt. Die Anzahl der Elemente ist beliebig. Enterprise Dynamics ist eine offene Plattform für Simulationen, es können Montageprozesse genauso wie der Strom von Fluggästen an einem Terminal simuliert werden. Spezielle Bausteine für die Montage sind nicht vorhanden.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Die Bedienung von E. D. ist einfach und intuitiv zu handhaben. Die Menüleiste ist übersichtlich strukturiert und die wichtigsten Befehle sind in der Symbolleiste zu finden. Die Mehrfenstertechnik ist gut gelöst und es lassen sich individuell Fenster dazu oder abschalten. Die Bedienoberfläche und die gesamte Hilfestellung sowie die Tutorials sind in englischer Sprache verfasst. Die Tutorials sind sehr umfangreich und führen den Ungeübten schnell die Software ein. In vielen Dialogfenstern wird eine intuitive Hilfestellung angeboten. Alle Eingabemasken speichern die zuletzt eingegeben Werte.

3. Berechnung & Auswertung

Positiv an E. D. ist die Auswertemöglichkeit aller Elemente auf einfacher Art und Weise. Aktuelle Werte, wie z.B. die Auslastung, werden live im Atom selber angezeigt. Es können zudem Live-Diagramme erstellt werden, die die benutzerspezifischen Werte anzeigen. Der Summary-Report zeichnet automatisch die wichtigsten Modellzustände auf und gibt sie übersichtlich wieder. Die Ergebnisse lassen sich in den gängigen Formen darstellen. Der Simulationszeitfaktor ist stufenlos zu verstellen und arbeitet ohne Animation sehr schnell. Bei der 2D Animation können verschiedene Bilder hinterlegt und animiert werden. Die 3D Simulation ist

mit zusätzlichem Aufwand verbunden, es müssen die notwendigen 3D Volumenmodelle importiert werden.

4. Schnittstellen

Es können verschiedenste 2D Dateiformate importiert werden, dazu zählen gängige Bilddateien wie *.jpg oder *.gif sowie CAD-Dateien wie *.dxf. Der Import von VRML-Dateien der Versionen 1 und 2 ist genauso möglich wie *.3ds Dateien. Die Kommunikation mit den Office Formaten wie Excel oder Access ist auch möglich. Aufgezeichnete Animationen im 2D oder 3D Format können in das gängige Videoformat *.avi exportiert werden.

5. Kosten

Das Programm kostet in der Anschaffung 18.500 € und in der jährlichen Wartung 2.775 €. Die Schulungskosten für Individualschulungen in der SITEC GmbH beinhalten 5 Tage Schulung und kosten 5.500 € zzgl. Übernachtungskosten. Es gibt zudem eine Runtimeversion für 6.990 € und 1.400 €/a für Wartung. Die Schulungen dauern hierbei nur 3 Tage und kosten 3.300 € im eigenem Haus. Das Programm läuft auf jedem modernen PC.

6. Sonstiges

Enterprise Dynamics ist ein weit verbreitetes Simulationsprogramm. Eine kostenfreie Demoversion ist verfügbar, die im Funktionsumfang uneingeschränkt und zeitlich unbegrenzt genutzt werden kann. Jedoch ist die Anzahl der Elemente beschränkt. In Deutschland gibt es zwei Vertriebs- und Service-Partner, die InduSim GmbH und die Incontrol GmbH.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Enterprise Dynamics ist eine sehr vielseitige Plattform für verschiedenste Simulationsstudien. Dennoch ist es relativ einfach zu bedienen. Die Preise sind liegen im Mittelfeld der getesteten Programme. E. D. ist durch seine Vielfältigkeit weit verbreitet.

Programmname:	Tecnomatix Plant Simulation
Version:	7.6.1 (2006)
Hersteller:	UGS Corporation
Vertrieb in Deutschland:	SimPlan AG Edmund-Seng-Straße 3-5 63477 Maintal
Website:	www.emplant.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellbildung mit Plant Simulation erfolgt über Drag-and-drop. Dabei werden vorgefertigte oder selbst definierte Bausteine aus einer Bibliothek in das Layout gezogen und miteinander verknüpft. Für die Modellierung von Montageanlagen gibt es eine spezielle Bibliothek, die allerdings im Standardumfang nicht enthalten ist. Die Anzahl der Elemente ist unbeschränkt. Eine Besonderheit von Plant Simulation stellt die Möglichkeit der Vererbung dar, es können Eltern-Kind-Vererbungen definiert werden, somit ist der Modellierungsaufwand für hierarchisch strukturierte Modelle vertretbar. Die Bausteine selbst können auch in hierarchisch strukturierter Form abgespeichert werden.

2. Bedienung und Benutzeroberfläche

Das Programm ist sofort intuitiv zu bedienen. Die Benutzeroberfläche lehnt sich stark an das gängige Windows Betriebssystem und dem MS-Office System an. Die komplette Benutzerführung sowie die Handbücher und Tutorials sind in deutscher Sprache verfasst. Die intuitive Hilfestellung ist ohne Einschränkungen gegeben. Jeder eingetragene Wert wird automatisch beim nächsten Aufruf angezeigt. Eine Vielzahl an Dialogfenster mit übersichtlicher Darstellung erleichtert die Modellierung. Die Mehrfenstertechnik ist ausbaubar, denn es ist nur ein kleines Fenster gegeben, um mehrere Fenster darin anzuordnen. Man muss entweder die Fenster ständig hin und her schieben oder sie stark verkleinern. Trotzdem ist die Benutzerführung im Vergleich zu den anderen Programmen die Übersichtlichste und Beste.

3. Berechnung & Auswertung

Die Berechnung der Ereignisse erfolgt relativ schnell. Das Simulationszeitverhältnis ist stufenlos einstellbar, es ist auch möglich ohne Animation zu Simulieren um entsprechend schneller Ergebnisse zu bekommen. Jedes Element kann nach einem Simulationslauf standardmäßig ausgewertet werden. Benutzerdefinierte Auswertungen können in Tabellen- oder Diagrammform jederzeit durch Dialogfenster gestaltet werden. Eine Experimentierverwaltung ist eben-

falls im Programm integriert. Die Simulation kann in 2D oder auch in 3D animiert werden. Allerdings ist zu beachten, dass bei einer 3D Animation die Simulation entsprechend langsam läuft.

4. Schnittstellen

Plant Simulation kommt mit den gängigsten Office Dateiformaten zurecht. Das Importieren von Daten aus Datenbanktypen wie ODBC oder Oracle sind ebenso möglich wie das Lesen und Schreiben von Daten aus oder in MS-Excel Tabellen. Somit können Simulationsergebnisse schnell aufbereitet und weiterverarbeitet werden. Die Animationen können in das gängige Videodateiformat *.avi exportiert werden. Erstellte CAD-Zeichnung im *.dxf Format können importiert und z.B. als Layouthintergrund verwendet werden, sie werden jedoch dabei in eine Pixelgrafik konvertiert. Folgende 3D Datentypen können ebenfalls von Plant Simulation verarbeitet werden: *.spp, *.s3D, *.wrl. SolidWorks-Dateien können nicht importiert werden.

5. Kosten

Plant Simulation ist mit Abstand das teuerste Programm im Vergleich. Eine Professional Lizenz kostet 42.170 €, die Standardlizenz 26.510 €. Für das notwendige Assembly Library Modul sind zusätzlich noch einmal 10.840 € aufzuwenden. Die Kosten für Wartung betragen, abhängig von der Version, ca. 5.000 €. Weitere Kosten für Hardware sind vernachlässigbar, Plant Simulation läuft auf einem modernen Konsumrechner mit Windows Betriebssystem zuverlässig.

6. Sonstiges

Das Programm hat eine große Verbreitung in Wirtschaft und Forschung. Es werden beständig neue Versionen entwickelt und Fehler behoben. Anpassungswünsche können durch Programmierung eigener Dialogfenster realisiert werden. Es gibt eine kostenfreie Viewer-Lizenz mit der die erstellen Modelle simuliert aber nicht abgeändert werden können.

8. Zusammenfassung/ Fazit

Das Programm Plant Simulation, ehemals emPlant, ist ein sehr mächtiges Simulationsprogramm. Im Vergleich zu den anderen Programmen besitzt es die beste Bedienung und Dokumentation. Allerdings ist der Preis mit ca. 50.000€ auch mit Abstand der Höchste im Vergleich. Der Aufwand für die Modellierung des Referenzmodells durch einen erfahrenen Anwender beträgt 4 Tage und bei Verwendung vorhandener Bausteine 3 Tage. Dazu wurde ein

Programmtext von ca. 600 Zeilen Umfang notwendig, um alle relevanten Prozesse abbilden zu können.

Programmname:	ProModel
Version:	7.0.0.191 (2006)
Hersteller:	ProModel Corporation
Vertrieb in Deutschland:	ProAspect GmbH Wasserburger Landstraße 264 D-81827 München
Website:	www.promodel.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

ProModel verfügt nicht über die Möglichkeit, Modelle per Drag-and-drop zu erstellen. Es können auch keine Modellbausteine angelegt und in einer Bibliothek gespeichert werden. Es lediglich möglich verschiedene Modelldateien in eine Gesamtdatei zusammenzufassen. Dies ist aber für die Anwendungszwecke der SITEC GmbH völlig unzureichend. Die Modellierung erfolgt meist über Dialogfenster und Tabellen, aber auch über die Programmiersprache Pascal. Spezielle Bausteine für die Montageplanung sind nicht vorhanden. Der Anwendungsschwerpunkt liegt bei der Planung von Logistik- und Fertigungsabläufen. Es können Makros definiert werden.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche, die Hilfedatei und das Benutzerhandbuch sind komplett in englischer Sprache verfasst. Die Benutzeroberfläche ist relativ übersichtlich gestaltet, aber dennoch nicht komplett intuitiv zu bedienen. Es ist zu jedem Dialogfenster eine inhaltssensitive Hilfe vorhanden. Es können mehrere Fenster gleichzeitig geöffnet sein, dies ist bei der Bedienung hilfreich. Die Eingabemasken speichern automatisch alle eingegeben Werte und zeigen sie beim erneuten Aufrufen wieder an.

3. Berechnung & Auswertung

Wird in ProModel ohne Animation simuliert, so erfolgt die Berechnung relativ schnell. Mit Animation ist die Simulationsgeschwindigkeit stufenlos einstellbar. ProModel verfügt über eine Experimentierverwaltung, dem sogenannten Szenariomanager, und ein Tool zur automatischen Optimierung des Modells. Es können alle Modellelemente statistisch ausgewertet werden, die Statistiken lassen sich in verschiedenen Formen darstellen. Die Animation erfolgt live zur Simulation. Die 2D-Darstellung des Modells ist gut gelöst, eine 3D-Darstellung ist nur durch ein Zusatzmodul möglich.

4. Schnittstellen

ProModel verfügt über die gängigsten Schnittstellen. Es ist möglich, Daten von Tabellenkalkulationsprogrammen und Datenbanken zu importieren. Der Import von CAD-Dateien ist nicht direkt möglich, sie müssen zuerst in einem, für das Programm, lesbaren Format abgespeichert werden. ProModel liest folgende Dateitypen für den Import von Grafiken: *.bmp, *.wmf, *.gif, und *.pcx. Ein Export der Animationen als Videodatei ist nicht möglich.

5. Kosten

Die Kosten für eine Einzelplatzlizenz von ProModel liegen bei 18.445 € inkl. 19% Umsatzsteuer. Es wird zusätzlich noch eine Runtimeversion „Gold“ angeboten, diese kostet 4000 €. Für die Zusatzmodule „SimRunner“ und „3D Animator“ sind zusätzlich je 2000 € aufzubringen. Die Schulung bei ProAspect in München kostet für 2 Tage 1000 € pro Person und im eigenen Haus 2000 € für max. 4 Personen.
Die jährlichen Wartungsgebühren belaufen sich auf 12% der Lizenzkosten der installierten Programme. Dafür werden Produktupdates und Support per Telefon, E-Mail, Fax und dem sogenannten „Solutionscafé“ geliefert.

6. Sonstiges

Die Software ProModel wird von einem der wichtigsten Kunden der SITEC GmbH eingesetzt, Siemens VDO in Limbach Oberfrohna. Eine Demoversion mit eingeschränktem Funktionsumfang wurde auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Der Support wird, wie in Punkt 5 beschrieben, per Telefon, E-Mail, Fax und Solutioncafé bereitgestellt. Es gibt ein Plug-In für den Internet Explorer, mit dem Simulationsmodelle von ProModel betrachtet werden können, dieses ist kostenlos.

7. Zusammenfassung/ Fazit

ProModel ist ein umfassendes Simulationsprogramm im 2D Bereich. Leider kann keine hierarchische Modellbildung in ProModel vorgenommen werden. Auch bei der Vorführung von ProModel wurde ein wesentlicher Nachteil sichtbar, das Austauschen von Modellbausteinen in einem komplexen Modell führt zu umfangreichen Änderungsarbeiten, es ist daher für eine Simulation in der Konzeptionsphase nicht geeignet. ProModel fehlt zudem leider eine entscheidende Eigenschaft: Elemente lassen sich nicht als Vorlage in einer Bibliothek abspeichern und sofort wiederverwenden.

Programmname:	Arena
Version:	10.0 (2005)
Hersteller:	Rockwell Software Inc.
Vertrieb in Deutschland:	SAT Simulations- und Automations-Technologie AG Badenweilerstraße 4 79115 Freiburg
Website:	www.arenasimulation.com; www.satgmbh.de

1. Montagegerechte & schnelle Modellbildung

Die Modellbildung in Arena orientiert sich stark an den abzubildenden Prozessen. Zur Simulation wird ein entsprechendes Ablaufdiagramm in Arena erzeugt, die einzelnen Prozessschritte lassen sich mit Hilfe von Dialogfenstern oder Tabellen anpassen.

Die Erzeugung solcher Ablaufdiagramme erfolgt schnell per Drag-and-drop, vorgefertigte Elemente stehen dazu zur Verfügung. Allerdings sind dies nur die wichtigsten Elemente, wie Quellen und Senken. Spezielle Bausteine für die Modellierung von Montageprozessen stehen nicht zur Verfügung. Die Konstruktion eigener Bausteine soll laut Arena möglich sein, konnte aber im Rahmen der Nutzwertanalyse nicht gefunden werden. Das Simulationsmodell lässt sich hierarchisch strukturieren.

2. Bedienung & Benutzeroberfläche

Die Programmoberfläche wirkt übersichtlich und gut strukturiert. Alle Menüpunkte, Dialogfenster, Hilfestellungen und Tutorials sind komplett in englischer Sprache verfasst. Die Bedienung erfolgt ohne weitere Probleme, allerdings nicht komplett intuitiv. Es steht eine inhaltssensitive Hilfefunktion für alle Dialogfenster bereit. Alle Eingabemasken behalten ihren zu letzt eingetragenen Wert. Als besondere Hilfestellung ist hier das Buch „Simulation with Arena“ (vgl. /KELT-07/) herauszustellen. Hier werden die Funktionalitäten des Programms aber auch Grundlagen zur Simulation beschrieben, ebenfalls in englischer Sprache.

3. Berechnung & Auswertung

Der Simulationslauf lässt sich in der Geschwindigkeit stufenlos steuern, die Animationen können zugunsten einer schnelleren Berechnung ebenfalls abgeschaltet werden. Nach der Simulation lassen sich die Ergebnisse in einer übersichtlichen Tabelle (evtl. mit Diagrammen) darstellen. Die Ergebnisdarstellungsformen sind standardisierte Säulen- oder Kreisdiagramme. Eine benutzerdefinierte Auswertung ist ebenfalls möglich, allerdings kann der dafür notwendige Aufwand leider nicht bestimmt werden.

Während der Simulation lässt sich das Modell animieren, die 2D-Darstellung ist gut. Eine 3D-Darstellung ist möglich, aber nicht von hoher Qualität.
Eine Experimentierverwaltung zur effizienten Durchführung von Experimenten ist nicht leider nicht vorhanden.

4. Schnittstellen

Arena verfügt über die üblichen Schnittstellen, dazu zählt beispielsweise der Import von Auto-CAD-Dateien im *.dxf. Die Kommunikation mit den Komponenten des MS-Office ist auch möglich, so lassen sich z.B. Ergebnislisten in MS-Excel exportieren und dort weiterverarbeiten. Arena kann auch Daten von Datenbanken im ODBC-Format lesen und verwenden.
Eine Besonderheit in Arena stellt die Schnittstelle zu MS-Visio dar. Hier erstellte Ablaufdiagramme können für die Modellierung in Arena genutzt werden. Animationen der Simulationsläufe können als *.avi Datei abgespeichert werden.

5. Kosten

Die Kosten für eine Professional-Lizenz liegen bei 19.500 € zzgl. Mehrwertssteuer. In diesem Preis sind allerdings das Modul OptQuest und eine 3 Tage Schulung in Freiburg enthalten. Angaben für Kosten zur Programmpflege können nicht gemacht werden. Preislich gesehen liegt Arena damit im Mittelfeld der getesteten Programme.

6. Sonstiges

Es wurde für Testzwecke eine Demoversion von Arena inkl. Lehrbuch zur Verfügung gestellt. Die Firma SAT bietet als Dienstleistung die Modellierung von kundenspezifischen Problemstellungen an. Anpassungswünsche sind allerdings durch SAT nicht möglich.
Ein kostenloser Viewer zum Betrachten erstellter Simulationsmodelle ist leider nicht vorhanden.

7. Zusammenfassung/ Fazit

Arena ist ein umfangreiches, solides und relativ offen gestaltetes Simulationsprogramm. Besonders hierbei ist die Modellierung des Systems mit Hilfe von Ablaufdiagrammen und deren Import aus MS-Visio. Besonders positiv ist das beigefügte Buch zur Testlizenz des Programms.

Anlage 5: Ergebnisse der Kriteriengewichtung

Tabelle 1: Gewichtung der Kriteriengruppen

		Montagegerechte & schnelle Modellbildung	Bedienung & Benutzer-oberfläche	Berechnung & Auswer-tung	Schnittstellen	Kosten	Sonstiges	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalitätsgruppe*	1	2	3	4	5	6	S_i	S_i/S [%]
1	Montagegerechte & schnelle Modellbildung	x	7	9	5	4	7	32	21,33
2	Bedienung & Benutzer-oberfläche	3	x	7	4	5	6	25	16,67
3	Berechnung & Auswer-tung	1	3	x	4	1	5	14	9,33
4	Schnittstellen	5	6	6	x	2	6	25	16,67
5	Kosten	6	5	9	8	x	9	37	24,67
6	Sonstiges	3	4	5	4	1	x	17	11,33
							S	150	100%

Tabelle 2: Gewichtung der Unterkriterien "Montagegerechte & schnelle Modellbildung"

		Modellkonstruktion per Drag-and-drop	spezielle Modellbausteine für Montageprozesse	eigene Bausteinkonstruktion	unbeschränkte Elementezahl und Dimension	Anwendungsschwerpunkt Fertigungsplanung	Definition von Makros	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalität*	1	2	3	4	5	6	S_i	S_i/S [%]
1	Modellkonstruktion per Drag-and-drop	x	6	8	5	9	7	35	23
2	spezielle Modellbausteine für Montageprozesse	4	x	3	3	5	3	18	12
3	eigene Bausteinkonstruktion	2	7	x	4	4	4	21	14
4	unbeschränkte Elementezahl und Dimension	5	7	6	x	8	7	33	22
5	Anwendungsschwerpunkt Fertigungsplanung	1	5	6	2	x	5	19	13
6	Definition von Makros	3	7	6	3	5	x	24	16
							S	150	100%

Tabelle 3: Gewichtung der Unterkriterien "Bedienung & Benutzeroberfläche"

		graphische, interaktive Benutzerführung	deutschsprachige Dokumentation und Bedienung	Eingabemasken mit Letztwertspeicherung	Mehrfenstertechnik	inhaltssensitive Hilfe	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalität*	1	2	3	4	5	S_i	S_i/S [%]
1	graphische, interaktive Benutzerführung	x	5	4	5	7	21	21
2	deutschsprachige Dokumentation und Bedienung	5	x	4	5	6	20	20
3	Eingabemasken mit Letztwertspeicherung	6	6	x	4	6	22	22
4	Mehrfenstertechnik	5	5	6	x	4	20	20
5	inhaltssensitive Hilfe	3	4	4	6	x	17	17
						S	100	100%

Tabelle 4: Gewichtung der Unterkriterien "Berechnung & Auswertung"

		statistische Standardauswertung aller Modellelemente	benutzerdefinierte Auswertung ohne Programmierkenntnisse	Ergebnisdarstellungsformen	Experimentierverwaltung	Simulationszeitfaktor	Online Animation	2D Animation	3D Animation	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalität*	1	2	3	4	5	6	7	8	S_i	S_i/S [%]
1	statistische Standardauswertung aller Modellelemente	x	5	4	5	6	5	5	7	37	13
2	benutzerdefinierte Auswertung ohne Programmierkenntnisse	5	x	4	2	6	3	4	4	28	10
3	Ergebnisdarstellungsformen	6	6	x	3	4	6	5	6	36	13
4	Experimentierverwaltung	5	8	7	x	7	5	4	7	43	15
5	Simulationszeitfaktor	4	4	6	3	x	4	4	5	30	11
6	Online Animation	5	7	4	5	6	x	2	6	35	13
7	2D Animation	5	6	5	6	6	8	x	6	42	15
8	3D Animation	3	6	4	3	5	4	4	x	29	10
										S 280	100%

Tabelle 5: Gewichtung der Unterkriterien "Schnittstellen"

		Import von CAD-Dateien /SolidWorks	Schnittstellen zu MS Office	Datenbanken	Export der Animationen in gängige Video-formate	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalität*	1	2	3	4	S_i	S_i/S [%]
1	Import von CAD-Dateien /SolidWorks	x	5	5	5	15	25
2	Schnittstellen zu MS Office	5	x	4	6	15	25
3	Datenbanken	5	6	x	4	15	25
4	Export der Animationen in gängige Video-formate	5	4	6	x	15	25
					S	60	100%

Tabelle 6: Gewichtung der Unterkriterien "Kosten"

		Lizenzkosten	Systemvoraussetzungen (Hardware & Betriebs-system)	Schulungskosten	Updatekosten	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalität*	1	2	3	4	S_i	S_i/S [%]
1	Lizenzkosten	x	4	7	4	15	25
2	Systemvoraussetzungen (Hardware & Betriebs-system)	6	x	3	4	13	22
3	Schulungskosten	3	7	x	2	12	20
4	Updatekosten	6	6	8	x	20	33
					S	60	100%

Tabelle 7: Gewichtung der Unterkriterien "Sonstiges"

		Kundenakzeptanz/ Marktpräsenz	Weiterentwicklung gewährleistet	Demoversion verfügbar	Support (E-Mail, Telefon, Persönlich, Dokumentation, Tutorials)	Anpassungswünsche durch Servicepartner möglich	kostenloser Viewer	Gewichtung	
Nr.	*Funktionalität*	1	2	3	4	5	6	S_i	S_i/S [%]
1	Kundenakzeptanz/ Marktpräsenz	x	5	6	3	4	6	24	16
2	Weiterentwicklung gewährleistet	5	x	6	6	5	7	29	19
3	Demoversion verfügbar	4	4	x	4	2	5	19	13
4	Support (E-Mail, Telefon, Persönlich, Dokumentation, Tutorials)	7	4	6	x	5	5	27	18
5	Anpassungswünsche durch Servicepartner möglich	6	5	8	5	x	5	29	19
6	kostenloser Viewer	4	3	5	5	5	x	22	15
							S	150	100%

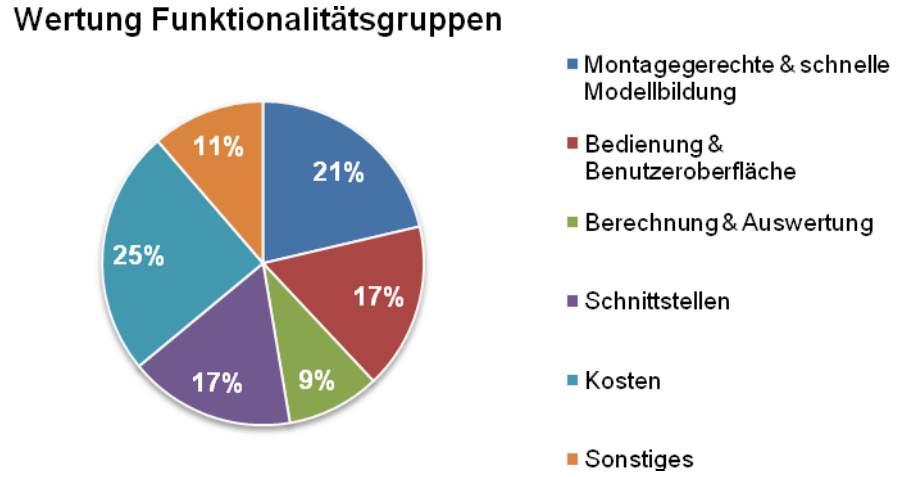


Abbildung 1: Gewichtung der Kriteriengruppen

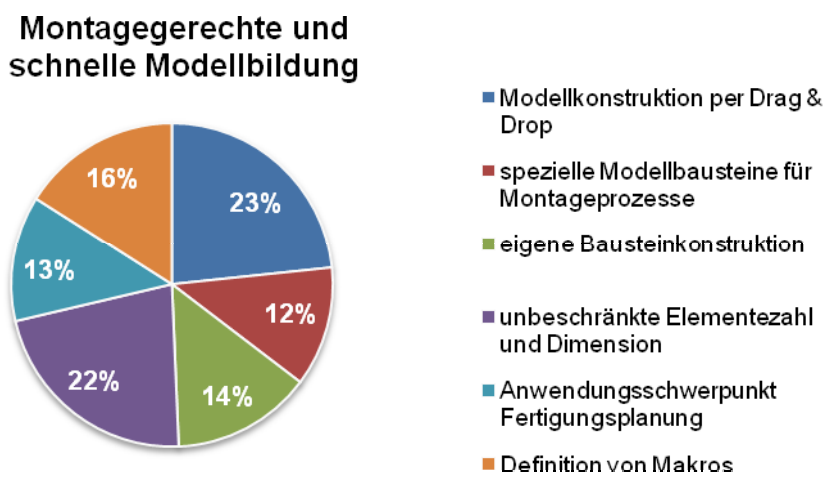


Abbildung 2: Gewichtung der Unterkriterien "Montagegerechte & schnelle Modellbildung"

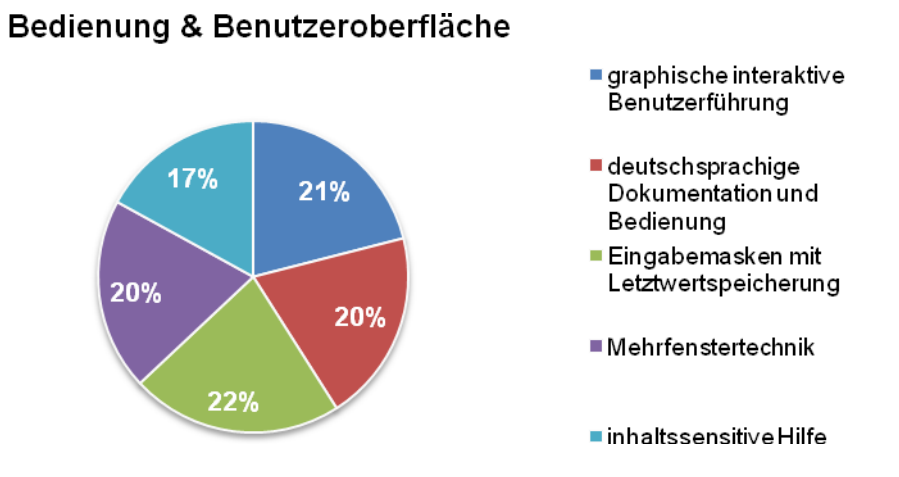


Abbildung 3: Gewichtung der Unterkriterien "Bedienung & Benutzeroberfläche"

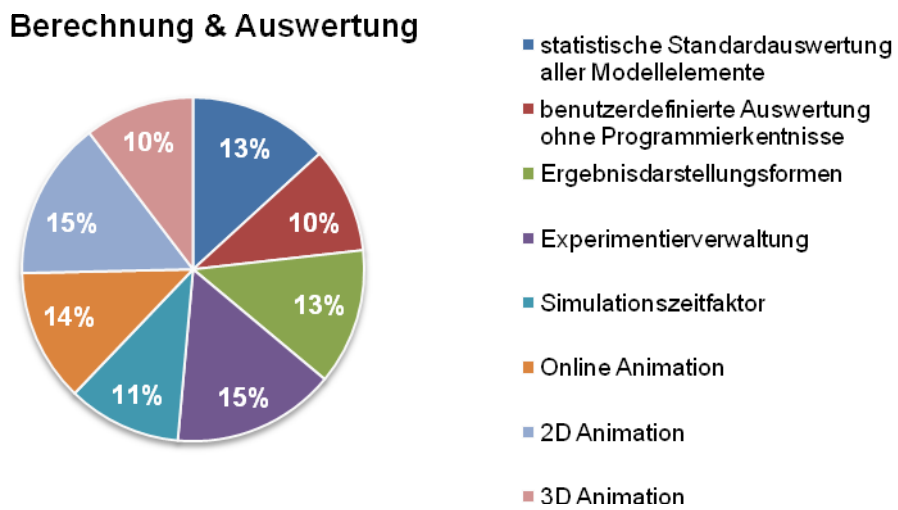


Abbildung 4: Gewichtung der Unterkriterien "Berechnung & Auswertung"

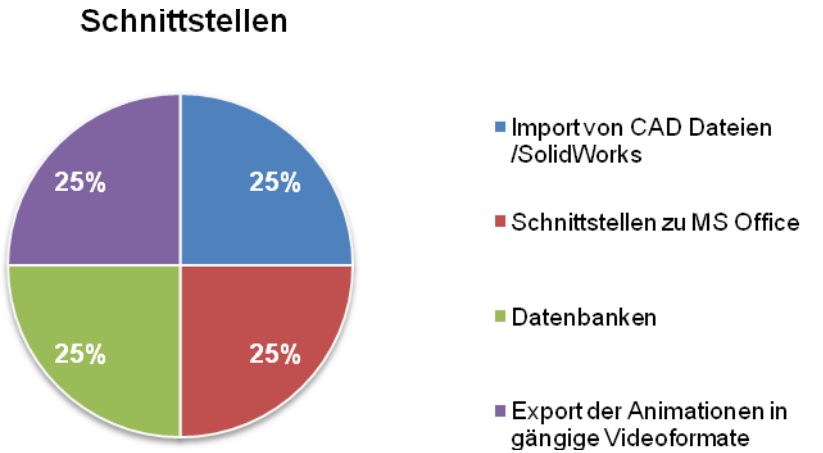


Abbildung 5: Gewichtung der Unterkriterien "Schnittstellen"

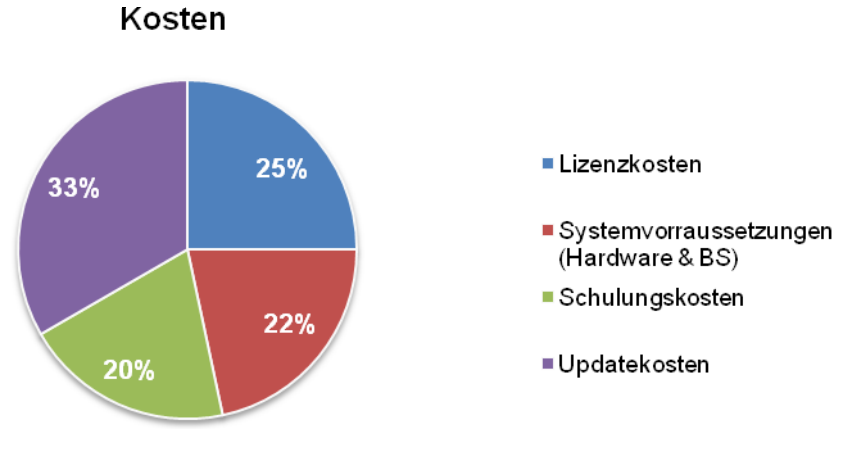


Abbildung 6: Gewichtung der Unterkriterien "Kosten"

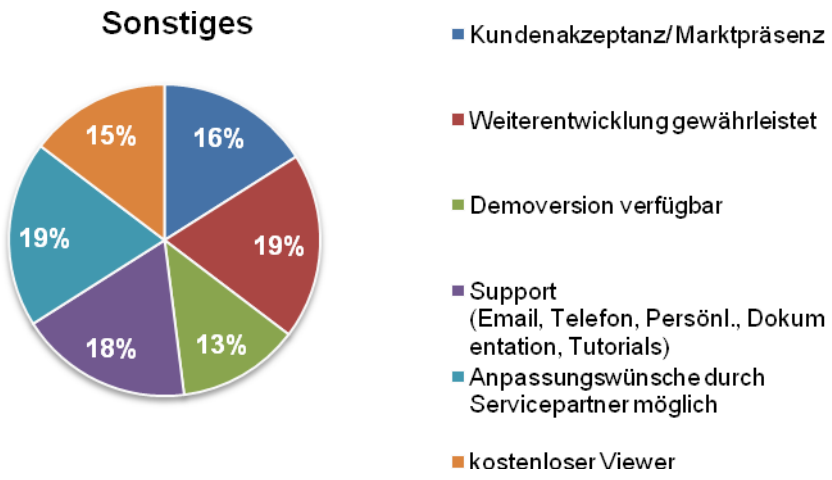


Abbildung 7: Gewichtung der Unterkriterien „Sonstiges“

Anlage 6: Vollständig ausgefüllte Nutzwertanalyse

			Bewertungsstufe											Gesamtwertung										
Nr.	Funktionalität	Gew.	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena
1	**Montagegerechte & schnelle Modellbildung**																							
1.1.	Modellkonstruktion per Drag-and-drop	23	1	2	2	2	0	1	1	2	2	3	2	23	47	47	47	0	23	23	47	47	70	47
1.2.	spezielle Modellbausteine für Montageprozesse	12	0	0	2	1	0	3	0	0	0	2	0	0	0	24	12	0	36	0	0	0	24	0
1.3.	eigene Bausteinkonstruktion	14	1	2	3	2	0	0	1	1	2	3	2	14	28	42	28	0	0	14	14	28	42	28
1.4.	unbeschränkte Elementezahl und Dimension	22	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
1.5.	Anwendungsschwerpunkt Fertigungsplanung	13	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	25	13	25	25	25	25	25	25	13	25	13
1.6.	Definition von Makros	16	0	1	1	2	0	1	2	0	2	2	2	0	16	16	32	0	16	32	0	32	32	32
												Summe		129	169	220	210	91	167	161	152	185	259	185
2	**Bedienung & Benutzeroberfläche**																							
2.1.	graphische interaktive Benutzerführung	21	1	2	3	2	2	2	1	1	3	2	2	21	42	63	42	42	42	21	21	63	42	42
2.2.	deutschsprachige Dokumentation und Bedienung	20	1	1	3	2	1	2	1	1	1	1	1	20	20	60	40	20	40	20	20	20	20	20

Nr.	Funktionalität	Gew.	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena
2.3.	Eingabemasken mit Letzt-wertspeicherung	22	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	22	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
2.4.	Mehrfenstertechnik	20	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	20	40	20	40	20	20	40	40	40	40	20
2.5.	inhaltssensitive Hilfe	17	1	1	3	2	0	0	2	0	2	2	3	17	17	51	34	0	0	34	0	34	34	51
												Summe		100	163	238	200	126	146	159	125	201	180	177

3	**Berechnung & Auswertung**																							
3.1.	statistische Standardauswertung aller Modellelemente	13	2	1	2	3	2	3	2	2	1	2	2	26	13	26	40	26	40	26	26	13	26	26
3.2.	benutzerdefinierte Auswertung ohne Programmierkentnisse	10	1	2	2	1	0	0	2	0	0	0	1	10	20	20	10	0	0	20	0	0	0	10
3.3.	Ergebnisdarstellungsformen	13	2	1	2	3	1	2	2	2	2	2	2	26	13	26	39	13	26	26	26	26	26	26
3.4.	Experimentierverwaltung	15	2	1	3	2	0	1	2	1	2	1	0	31	15	46	31	0	15	31	15	31	15	0
3.5.	Simulationszeitfaktor	11	2	3	2	2	0	3	2	3	3	2	3	21	32	21	21	0	32	21	32	32	21	32
3.6.	Online Animation	13	2	2	2	2	0	2	2	3	2	3	2	25	25	25	25	0	25	25	38	25	38	25
3.7.	2D Animation	15	2	2	2	2	0	2	2	0	2	0	2	30	30	30	30	0	30	30	0	30	0	30
3.8.	3D Animation	10	1	0	3	3	0	0	1	3	2	3	1	10	0	31	31	0	0	10	31	21	31	10
												Summe		180	149	226	226	39	168	190	168	178	158	160

Nr.	Funktionalität	Gew.	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena
4	**Schnittstellen**																							
4.1.	Import von CAD-Dateien / SolidWorks	25	0	1	1	2	0	0	1	1	2	3	3	0	25	25	50	0	0	25	25	50	75	75
4.2.	Schnittstellen zu MS-Office	25	0	1	2	2	2	3	2	1	3	2	3	0	25	50	50	50	75	50	25	75	50	75
4.3.	Datenbanken	25	0	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	0	25	50	50	50	50	50	25	50	50	50
4.4.	Export der Animationen in gängige Videoformate	25	2	0	3	3	0	0	0	0	3	3	3	50	0	75	75	0	0	0	0	75	75	75
												Summe		50	75	200	225	100	125	125	75	250	250	275

5	**Kosten**																							
5.1.	Lizenzkosten	25	2	3	0	2	*	3	2	1	2	3	2	50	75	0	50	0	75	50	25	50	75	50
5.2.	Systemvorraussetzungen (Hardware & BS)	22	2	2	2	2	*	3	3	2	2	2	2	43	43	43	43	0	65	65	43	43	43	43
5.3.	Schulungskosten	20	1	2	1	1	*	3	3	3	1	1	3	20	40	20	20	0	60	60	60	20	20	60
5.4.	Updatekosten	33	0	2	1	1	*	0	1	0	1	2	0	0	67	33	33	0	0	33	0	33	67	0
												Summe		113	225	97	147	0	200	208	128	147	205	153

* Es konnten keine Informationen für die Bewertung dieser Felder ermittelt werden

*

Nr.	Funktionalität	Gew.	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena	AutoMod	Simul8	Plant Simulation	Witness	ProPlaner	SpeedSIM	ProModel	Quest	Enterprise Dynamics	3D-Create	Arena
6	**Sonstiges**																							
6.1.	Kundenakzeptanz/ Marktpräsenz	16	1	1	3	2	1	2	2	2	2	2	2	16	16	48	32	16	32	32	32	32	32	32
6.2.	Weiterentwicklung	19	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	39	19	39	39	19	39	39	39	39	39	39
6.3.	Demoversion verfügbar	13	3	0	2	2	1	2	2	0	3	3	2	38	0	25	25	13	25	25	0	38	38	25
6.4.	Support (E-Mail, Telefon, Persönlich, Dokumentation, Tutorials)	18	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	2	36	36	36	36	36	54	36	36	36	54	36
6.5.	Anpassungswünsche durch Servicepartner möglich	19	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1	19	19	19	19	19	58	19	19	19	39	19
6.6.	kostenloser Viewer	15	0	1	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	15	44	0	0	0	29	0	0	44	0
												Summe		148	105	211	151	103	208	181	126	164	245	151

Gesamtsumme:	**11394**	**15710**	**18880**	**19010**	**7253**	**16930**	**17117**	**12740**	**18604**	**22006**	**18176**

Bewertung:	0	schlecht
	1	mittelwertig
	2	gut
	3	sehr gut

Anlage 7: Beschreibung der Referenzanlage

1. Aufbau und Wirkungsweise der Montage- und Prüfanlage

In dieser Montageanlage werden drei Teile (Gehäuse, Einlegeteil, Dichtring) miteinander verbunden. Das Einlegeteil muss vor der Montage vorbehandelt werden. Danach wird das Einlegeteil in das Gehäuse eingelegt und auf einer Seite verschweißt, auf der anderen Seite wird zwischen Gehäuse und Einlegeteil ein Dichtring eingelegt. Der Dichtring wird ebenfalls mit Gehäuse und Einlegeteil verschweißt. Zum Schluss wird die Ringlage in der Baugruppe vermessen.

2. Simulationsziele:

- Validierung des Anlagenkonzeptes
    - Empirische Taktzeitermittlung mit Hilfe von Simulation
    - Durchlaufzeitermittlung
    - Dimensionierung von Pufferplätzen
    - Auswirkung von Störungen auf den Durchsatz pro Schicht
    - Auswirkungen der Schwankungen der Zeiten
- Verbesserung der Kommunikation zwischen Kunden und Lieferant
    - Animierte Simulation
    - Statistische Auswertung relevanter Größen (Taktzeit, Durchlauf, Verfügbarkeit)
    - Realistische Abbildung der Anlage in der Software (CAD-Layout)

3. Ausführliche Beschreibung der Module (in Anlehnung an /RADÜ-07/)

Modul 1

1 Vorgaben:

- Zuführung Gehäuse aus Palette 1
- Zuführung Einlegeteil aus Palette 2
- Vorbehandeln Einlegeteil
- Abblasen Bodenseite

- Lesen DMC[15]
- Laserschweißen Gehäuse/Einlegeteil
- Wenden und Ablegen der Baugruppe

2 Bestandteile:

- Grundmodul mit Steuerung und Bedientableau
- 2 Palettiersysteme als Quelle zur Teilebereitstellung
- Beschickungs- und Entnahmehandling
- Rundschalttisch mit 4 Stationen und drehbar gelagerten Werkstückaufnahmen
- Rundschalttisch mit 4 x 2Aufnahmen Vorbehandeln
- Drehantrieb für Schweißstation mit synchron angetriebenem Niederhalter
- Laser, Bearbeitungskopf
- Schutzgasversorgung mit Gasdurchflussmesser und Druckschalter
- Schweißrauchabsaugung
- div. Dreh- und Positioniereinheiten mit Greifern
- Teileanwesenheitskontrolle in jeder Station
- Zwischenpuffer

2 Prinzipieller Ablauf:

- Station 1:
  - Gehäuse aus Palette entnehmen
  - Gehäuse in Werkstückaufnahme spannen

- Station 2:
  - Einlegeteil aus Palette entnehmen
  - Einsetzen Einlegeteil in Werkstückaufnahme Vorbehandeln
  - Vorbehandeln
  - Entnehmen aus RT[16]
  - Wenden
  - Abblasen
  - Lesen DMC
  - Einsetzen in Gehäuse

[15] engl. Data-Matrix-Code
[16] Rundtisch

- Station 3:
  - Drehantrieb an Werkstückaufnahme ankoppeln
  - Werkstückaufnahme entriegeln
  - Niederhalter absenken
  - Laserschweißen
  - Drehantrieb von Werkstückaufnahme trennen

- Station 4:
  - Baugruppe aus Werkstückaufnahme entnehmen
  - Baugruppe wenden
  - Baugruppe in Modul 2 übergeben

Modul 2

1 Vorgaben:

- Baugruppe aus Modul 1 übernehmen
- Lesen DMC
- Zuführung Dichtring
- Nachpressen Dichtring
- Laserschweißen Innen- und Außennaht
- Kraftüberwachung Niederhalter
- Ablegen Baugruppe in Zwischenspeicher

2 Bestandteile:

- Grundmodul mit Steuerung und Bedientableau
- Beschickungs- und Entnahmehandling
- Vereinzelung mit Förderschiene für Dichtring
- Kraft-Weg-Überwachungssystem (Burster)
- Rundschalttisch mit 6 Stationen und drehbar gelagerten Werkstückaufnahmen
- Drehantrieb für Schweißstation mit synchron angetriebenem Niederhalter
- Laser, 2 x Bearbeitungskopf
- Schutzgasversorgung mit Gasdurchflussmesser und Druckschalter

- Schweißrauchabsaugung
- div. Dreh- und Positioniereinheiten mit Greifern
- Teileanwesenheitskontrolle in jeder Station
- Zwischenspeicher

2 Prinzipieller Ablauf:

- Station 1:
  - Baugruppe aus Modul 1 übernehmen
  - Lesen DMC
  - Baugruppe in Werkstückaufnahme des Rundschalttisches spannen

- Station 2:
  - Vereinzelung und Lageorientierung Dichtring
  - Zuführung der Dichtring
  - Eindrücken der Dichtring in Gehäuse mit Kraft-Weg-Überwachung

- Station 3:
  - Nachpressen Dichtring

- Station 4:
  - Niederhalter auf Dichtring positionieren
  - Kraftüberwachung Niederhalter
  - Drehantrieb an Werkstückaufnahme ankoppeln
  - Werkstückaufnahme entriegeln
  - Laserschweißen (Heften) Innennaht/Außennaht
  - Drehantrieb von Werkstückaufnahme trennen

- Station 5:
  - Drehantrieb an Werkstückaufnahme ankoppeln
  - Werkstückaufnahme entriegeln
  - Laserschweißen Innennaht/Außennaht
  - Drehantrieb von Werkstückaufnahme trennen

- Station 6:

- Baugruppe aus Werkstückaufnahme entnehmen
- Baugruppe in Zwischenspeicher oder N.i.O-Puffer ablegen

Modul 3.1

1 Vorgaben:

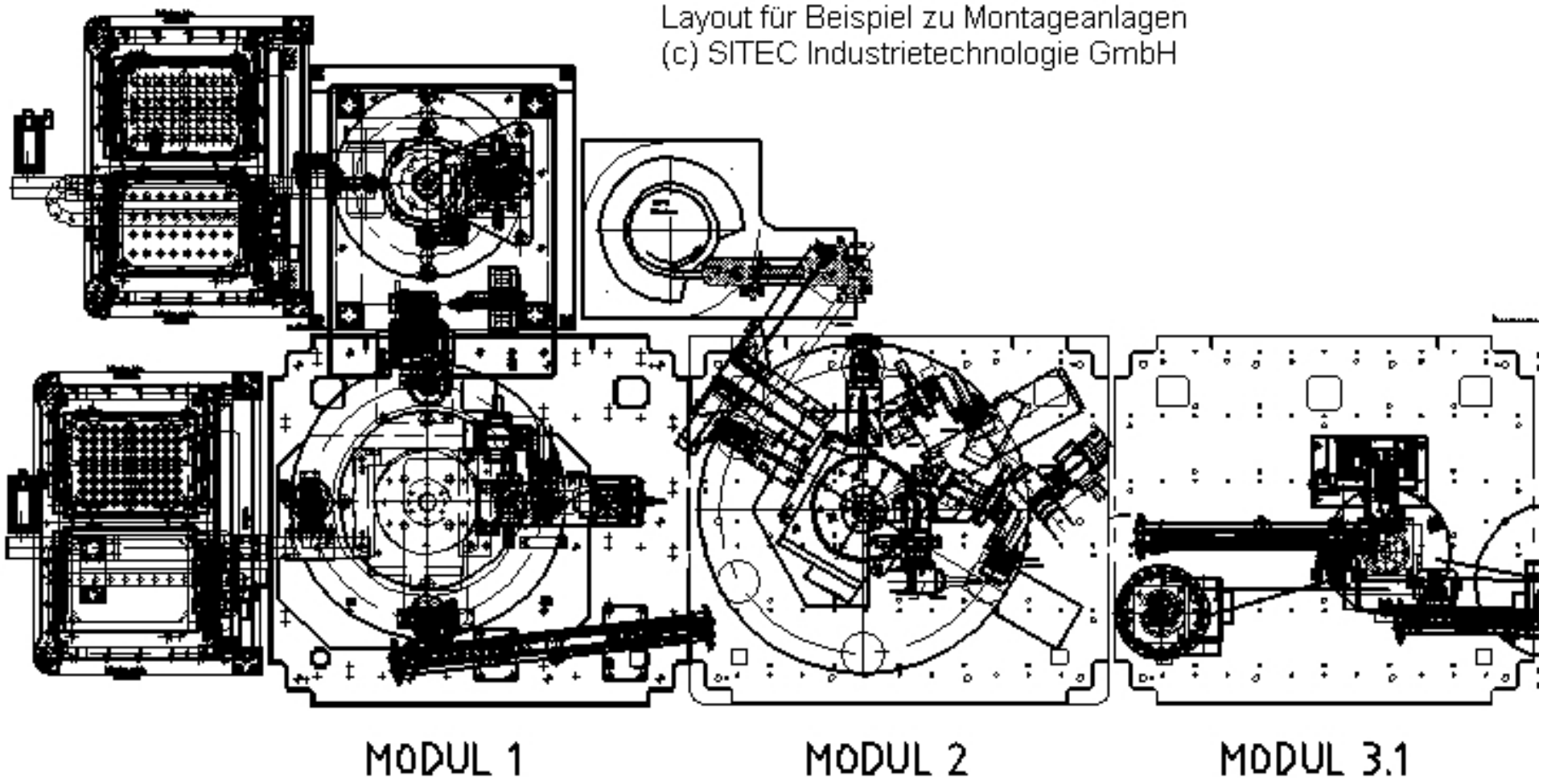
- Lesen DMC
- Baugruppe aus Zwischenpuffer entnehmen und unter Ringvermessung positionieren
- Prüfung Ringlage
- Baugruppe von RT in Zwischenspeicher bzw. N.i.O.-Ablage ablegen

2 Bestandteile:

- Grundmodul mit Steuerung und Bedientableau
- Beschickungs- und Entnahmehandling
- Erkennungssoftware DMC
- Schwingungsisolierter Rundtisch
- Teileanwesenheitskontrolle in jeder Station
- Zwischenspeicher

3 Prinzipieller Ablauf

- Baugruppe aus Zwischenpuffer entnehmen
- Baugruppe in Rundtisch für Ringvermessung ablegen
- Teil ausheben
- Ringlage messen
- Baugruppe greifen und in Zwischenspeicher oder N.i.O.-Ablage transportieren


Layout für Beispiel zu Montageanlagen
(c) SITEC Industrietechnologie GmbH
MODUL 1
MODUL 2
MODUL 3.1

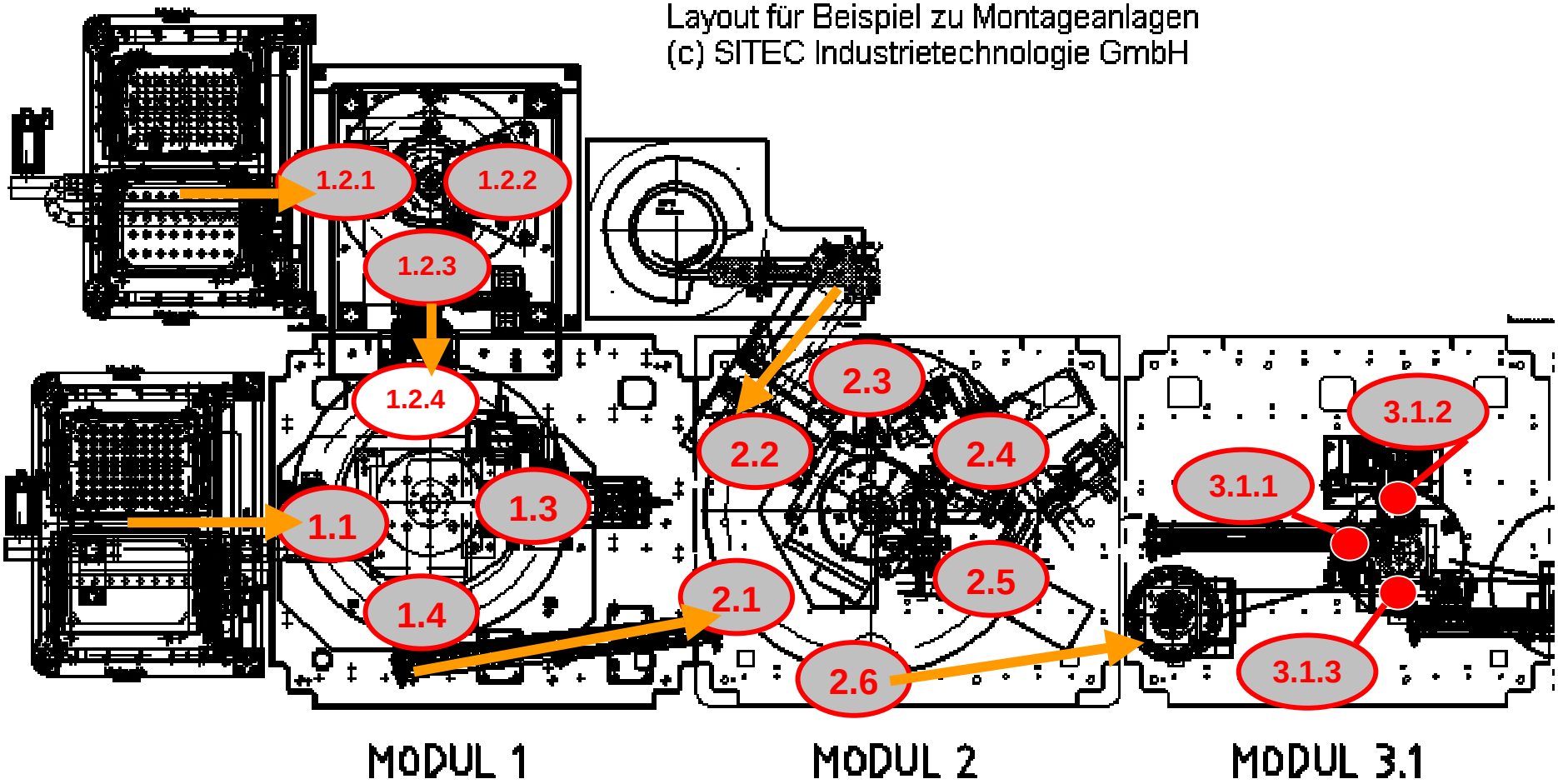

Layout für Beispiel zu Montageanlagen
(c) SITEC Industrietechnologie GmbH
1.2.1
1.2.2
1.2.3
1.2.4
1.1
1.3
1.4
2.1
2.2
2.3
2.4
2.5
2.6
3.1.1
3.1.2
3.1.3
MODUL 1
MODUL 2
MODUL 3.1

Tabelle 1: Prozesszeiten der Referenzanlage

Modul/Station	Beschreibung	Mittlere Bearbeitungszeit	Streuung
1			
1.1	Gehäuse von Palette in Werkstückaufnahme legen	3,75	0,07
1.2.1	Einlegeteil von Palette in Werkstückaufnahme legen	5,25	0,61
1.2.2	Vorbehandeln	6,2	0,03
1.2.3	Übergabe Einlegeteil	5,71	0,67
1.2.4	Einlegeteil in Gehäuse einlegen	3,92	0,33
1.3	Einlegeteil mit Gehäuse verschweißen	5,03	0,05
1.4	verschweißte Baugruppe an Modul 2 übergeben	5,87	0,11
2			
2.1	Baugruppe übernehmen, Lesen DMC	5,08	0,09
2.2	Zuführung Dichtring	5,42	0,04
2.3	Nachpressen Dichtring	3,33	0,05
2.4	Dichtring an Baugruppe heften	5,96	0,05
2.5	Dichtring mit Baugruppe verschweißen	3,81	0,03
2.6	Baugruppe an Modul 3.1 übergeben	5,13	0,76
3.1			
3.1.1	Übernahme von Modul 2	4,06	0,05
3.1.2	Baugruppe in Werkstückaufnahme drücken	3,05	0,08
3.1.3	Ringlage vermessen	5,87	0,05
3.1.4	-	0	0
3.1.5	-	0	0
3.1.6	Übergabe Baugruppe an Modul 3.2	5,07	0,08

Tabelle 2: MTBF & MTTR Werte

MTBF & MTTR [min]				
		Mittelwert	Streuung	
MTBF:	Modul 1:	156,52	31,71	$MTBF = \frac{\sum Automatikbetrieb}{\sum Störung}$
	Modul 2:	62,58	14,91	
	Modul 3.1:	880,40	71,59	
MTTR:	Modul 1:	23,79	16,12	$MTTR = \frac{\sum Handbetrieb}{\sum Störung}$
	Modul 2:	19,47	13,81	
	Modul 3.1:	170,20	71,28	

Anlage 8: Modellierung der Referenzanlage mit weiteren Simulationsprogrammen

Modellierung mit Demlia-Quest

Die Referenzanlage wurde an der Hochschule Mittweida (FH) in zwei Tagen modelliert. Dies ist nur möglich gewesen, da der Autor dieser Arbeit im Wintersemester 2006 / 2007 an einer Grundlagenschulung des Programms teilgenommen hat.

Das schlechte Abschneiden der Software in der Nutzwertanalyse wurde durch die Modellierung der Referenzanlage bestätigt (Platz 9 von 11). Quest eignet sich nicht für die Zwecke der SITEC GmbH, weil es nicht möglich ist, Bibliotheksbausteine für immer wiederkehrende Module anzulegen. Selbst mit den vorhandenen Grundbausteinen wie Quelle, Senke, Maschine, Puffer, ist es nicht möglich gewesen die Prozesse der Montageanlagen abzubilden. Dafür sind Programmierkenntnisse in Quest erforderlich, die nicht Bestandteil einer Grundlagenschulung sind. Der Versuch, bei dem deutschen Vertriebspartner, Tipps für die Modellierung ohne Programmierung oder einen, dem Rundtakttisch ähnlichen, Baustein zu erhalten scheiterte. Aus diesem Grund ist nur eine vereinfachte Version des Rundtakttisches modelliert worden, in dem nur eine Prozesszeit eingegeben werden kann. Diese ist gleichzeitig die Taktzeit des gesamten Rundtakttisches. Das somit erstellte Simulationsmodell (Abbildung 1) liefert keine Ergebnisse, die auf die reale Anlage übertragbar sind.

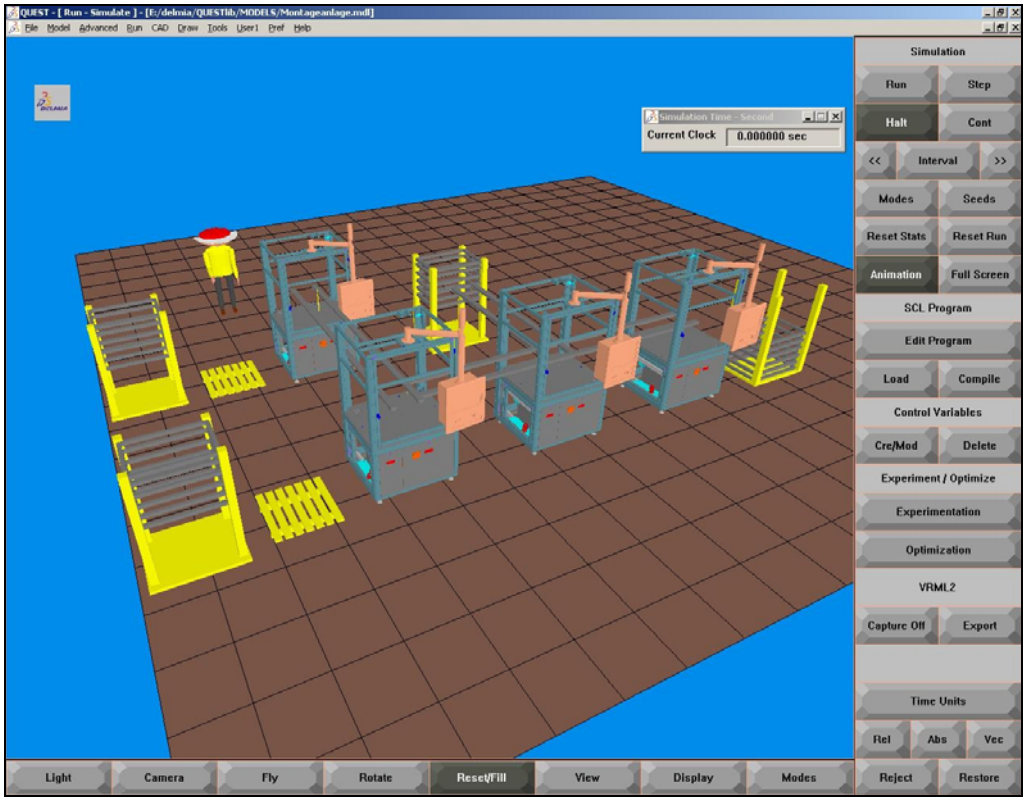


Abbildung 1: Modellierte Referenzanlage mit Delmia-Quest

Modellierung mit Plant Simulation:

Die Implementierung des Referenzmodells in das Programm Plant Simulation wurde vollständig von Hörmann-Rawema durchgeführt. Das erstellte Simulationsmodell und die Vorgehensweise sind anschließend in einer Präsentation vorgestellt worden.

Es bestätigt sich die Annahme, dass sich Plant Simulation grundsätzlich für die Simulation von Montageprozessen eignet. Für die erstmalige Modellierung der Referenzanlage inkl. des Definierens der Modellbausteine benötigt ein erfahrener Simulationsexperte vier Tage. Das so entstandene Modell bildet die ablaufenden Prozesse detailliert ab und ist zudem für die Kundenpräsentation anschaulich aufgearbeitet (Abbildung 2). Die Modellierung der gleichen Anlage aus vorhandenen Modellbausteinen dauert drei Tage. Dies ist zu lang, um schnell und flexibel auf Änderungen im Anlagenkonzept reagieren zu können, wie sie in der Angebotsphase auftreten. Andere Simulationsprogramme benötigen für die erstmalige Modellierung der Anlage ähnlich viel Zeit (z.B. 3D-Create, E. D.), aber für eine Modellierung mit vorhandenen Bausteinen sehr viel weniger (ca. ½ Tag). Dies liegt daran, dass die erstellten Bausteine in Plant Simulation nicht so autonom angelegt werden können wie z.B. mit 3D-Create. Änderungen im Simulationsmodell erfordern daher immer wieder Programmier- und Modellierungsaufwand. Die Entscheidung, Plant Simulation nicht in die engerer Auswahl zu nehmen, wird durch das Ergebnis dieser Modellierung bestätigt.

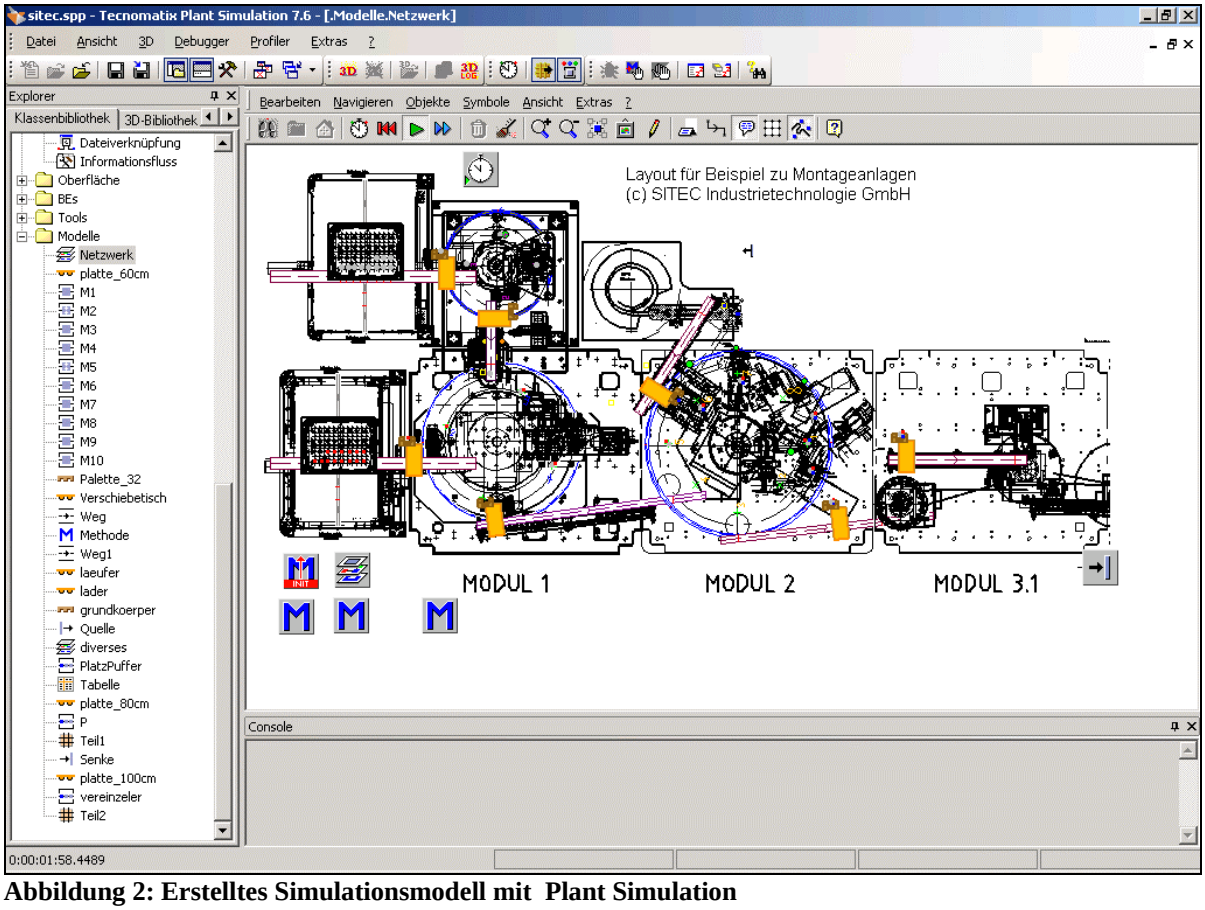


Abbildung 2: Erstelltes Simulationsmodell mit Plant Simulation

Modellierung mit ProModel

Die Modellierung der Referenzanlage mit ProModel erfolgte gemeinsam mit dem Simulationsexperten bei Siemens VDO in Limbach Oberfrohna.

Auch hier bestätigt sich, analog zu Delmia-Quest, das relativ schlechte Abschneiden der Software im Rahmen der Nutzwertanalyse (Platz 6 von 11). Der Grund ist hier der Gleiche: Das Anlegen einer Bausteinbibliothek ist nicht möglich, vorzunehmende Änderungen müssen durch Programmierung im Gesamtmodell realisiert werden. Zwar können mehrere Teilmodelle in einem neuen Modell zusammengefasst werden (Merge-Funktion), dies ist aber nicht mit einer Drag-and-drop Modellierung aus einer Bausteinbibliothek zu vergleichen. Diese Methode ist für Modelle mit vielen Freiheitsgraden sehr zeitaufwendig und unflexibel. Animationen werden mit Layer realisiert, auf dem Layout (Layer 1) werden verschiedene Punkte gesetzt (Layer 2) die die Bearbeitungsstationen (Locations) darstellen. Diese können mit verschiedenen Symbolen belegt werden oder auch transparent bleiben. Anschließend werden die Locations über Pfade miteinander verbunden. Das erstellte Simulationsmodell ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Modellierung der Referenzanlage dauert ca. 2 Tage. Die Anteile der dialogfenster- und programmierorientierten Modellierung sind gleich verteilt.

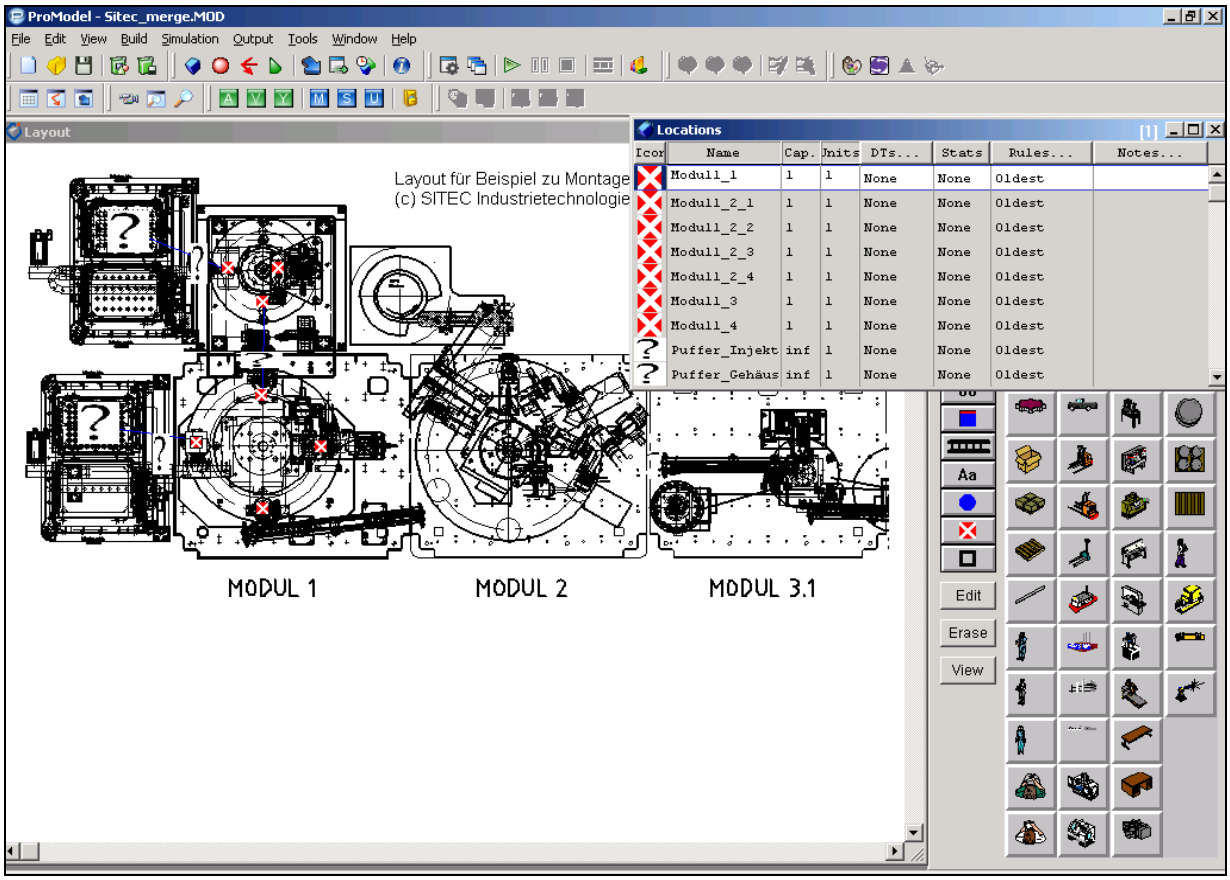

ProModel - Sitec_merge.MOD
File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help
Layout
Layout für Beispiel zu Montage
(c) SITEC Industrietechnologie
MODUL 1
MODUL 2
MODUL 3.1
Locations
Icon Name Cap. Units DTs... Stats Rules... Notes...
Modul_1 1 1 None None Oldest
Modul_2_1 1 1 None None Oldest
Modul_2_2 1 1 None None Oldest
Modul_2_3 1 1 None None Oldest
Modul_2_4 1 1 None None Oldest
Modul_3 1 1 None None Oldest
Modul_4 1 1 None None Oldest
Puffer_Injekt inf 1 None None Oldest
Puffer_Gehäus inf 1 None None Oldest
Aa
Edit
Erase
View

Abbildung 3: Modellierte Referenzanlage mit ProModel